

*На правах рукописи*



003052915

**БУРУКИНА Ирина Петровна**

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АВТОНОМНЫХ  
МЕДИЦИНСКИХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ  
НА ОСНОВЕ СПЛАЙНОВЫХ ВЕЙВЛЕТ ФИЛЬТРОВ**

Специальность 05.11.17 – приборы, системы и изделия  
медицинского назначения

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Пенза 2007

Работа выполнена на кафедре  
«Информационно-вычислительные системы»  
государственного образовательного учреждения  
высшего профессионального образования  
«Пензенский государственный университет»

- Научный руководитель:** доктор технических наук, профессор  
**Чувькин Борис Викторович**
- Официальные оппоненты:** доктор технических наук, профессор  
**Истомина Татьяна Викторовна;**  
кандидат технических наук, доцент  
**Квятковский Юрий Григорьевич**
- Ведущая организация:** ФГУП ПО «Старт»  
(г. Заречный, Пензенская обл.)

Защита диссертации состоится 29 марта 2007 г. в 14 часов на заседании диссертационного совета Д 212.186.02 в государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Пензенский государственный университет» по адресу: 440026, г. Пенза, ул. Красная, 40.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Пензенский государственный университет» и на сайте [www.pnzgu.ru](http://www.pnzgu.ru).

Автореферат разослан « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2007 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
доктор технических наук,  
профессор



**А. В. Светлов**

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Развитие медицинской науки и новые идеи в клинической медицине ставят все новые задачи по созданию медицинской аппаратуры. В настоящее время использование в медицинской практике компьютера в сочетании с измерительной и управляющей техникой позволило создать новые эффективные средства для обеспечения автоматизированного сбора информации о состоянии пациента, ее обработки в реальном масштабе времени и управления его состоянием. Этот процесс привел к созданию медицинских измерительных приборов (МИП) с новыми инструментальными методами исследования.

Приоритетным направлением программы информатизации медицины является мониторинг здоровья населения. Мониторинг здоровья – это система оперативного слежения за состоянием и изменением здоровья населения, представляющая собой постоянно совершенствующийся механизм получения разноуровневой информации для углубления оценки и прогноза здоровья населения за различные временные интервалы. Автономные медицинские измерительные приборы (АМИП) являются ключевым звеном в системах мониторинга различного типа. В медицинской практике широко используются АМИП, предназначенные для контроля деятельности сердечно-сосудистой системы (ССС) по электрокардиограмме (ЭКГ). Это связано с тем, что основная доля причин смертности людей в трудоспособном возрасте связана с сердечно-сосудистыми заболеваниями. Согласно данным Госкомстата, смертность от сердечно-сосудистых заболеваний в России сегодня в среднем составляет 53,37% общей смертности. Поэтому вопросы разработки и совершенствования АМИП для объективной оценки и прогнозирования состояния сердечно-сосудистой системы актуальны.

Методы вейвлет преобразования, несмотря на сложность, связанную с математической реализуемостью и интерпретацией результата, доказали свою практическую эффективность в медицине.

Современный уровень применения вейвлет для анализа ЭКГ охватывает значительную часть достижений в области теории вейвлет, разработанной в 80–90-е гг. коллективами под руководством И. Добеши, К. Чуи, В. Свелденса, А. Луиса и др.

Применение вейвлет преобразования в МИП связано с массовым появлением высокоточных интегрирующих аналого-цифровых преобразователей (ИАЦП) с разрядностью 20÷24 бит. Сплайновые вейвлеты отличаются рядом особенностей (гладкость, симметрия, компактность), которые эффективны для анализа сигналов ЭКГ.

В настоящее время на первый план выходит проблема разработки аппаратно-программных средств реализации континуально-дискретных сплайновых вейвлет алгоритмов для анализа сигналов ЭКГ, однако созданию новых конкурентоспособных высокоэффективных АМИП

препятствует отсутствие методики проектирования сплайновых вейвлет фильтров на базе ИАЦП.

**Цель работы** – совершенствование АМИП с новыми функциональными возможностями в системах мониторинга сигнала ЭКГ на основе использования континуально-дискретных сплайновых вейвлет алгоритмов.

**Основные задачи исследования:**

1. Анализ современных АМИП для мониторинга ЭКГ и путей их технического совершенствования.
2. Анализ используемых в кардиологии вейвлет алгоритмов и выделение подкласса вейвлет, реализуемых в рамках АМИП, для анализа сигналов ЭКГ.
3. Разработка инженерной методики проектирования сплайновых вейвлет фильтров как базисных элементов совершенствования АМИП.
4. Оценка погрешностей измерительного канала и разработка алгоритма коррекции погрешностей и повышение помехоустойчивости в АМИП.
5. Разработка инженерной методики проектирования АМИП, ориентированной на использование современных микроконтроллеров.

**Методы исследования.** При выполнении работы использовалась теория цифровых измерений и обработки сигналов, теория линейных импульсных систем, теория операторных методов анализа непрерывных, дискретных и непрерывно-дискретных систем, теория дискретизации и восстановления измерительных сигналов, теория оценок погрешности. Для аналитических выводов использовались математические пакеты прикладных программ и имитационное моделирование в системах визуального программирования.

**Научная новизна работы:**

1. Впервые предложен и исследован метод континуально-дискретного сплайнового вейвлет преобразования сигнала ЭКГ в реальном масштабе времени.
2. Разработана обобщенная структура, в рамках которой возможна реализация сплайновых вейвлет алгоритмов в континуально-дискретной форме.
3. Разработан метод анализа и синтеза сплайновых вейвлет фильтров, в основу которого положен структурно-алгоритмический подход.
4. Найдено аналитическое решение для расчета коэффициентов замкнутой структуры ИАЦП многократного интегрирования с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) в цепи обратной связи (ОС).

**На защиту выносятся:**

1. Усовершенствованная структура АМИП, реализующая континуально-дискретный алгоритм сплайнового вейвлет преобразования

сигнала ЭКГ в реальном масштабе времени на основе сплайнового вейвлет фильтра.

2. Метод анализа и синтеза сплайновых вейвлет фильтров, в основу которого положен структурно-алгоритмический подход.

3. Аналитическое решение для расчета коэффициентов замкнутой структуры ИАЦП многократного интегрирования с широтно-импульсной модуляцией в цепи обратной связи.

**Реализация и внедрение результатов.** Полученные в диссертационной работе результаты разработки теории и инженерной методики проектирования высокоточных ИАЦП, относящихся к подклассу сигма-дельта АЦП, используются при выполнении НИР «ОБНОВА» в ФГУП НИИ физических измерений (г. Пенза) и при обосновании перспектив создания интеллектуальных средств измерений для ракетно-космической техники в рамках Федеральной космической программы до 2010 г. Кроме того, результаты диссертационной работы используются в научно-исследовательской работе, проводимой в кардиологическом отделении Пензенской областной клинической больницы им. Н. П. Бурденко.

**Апробация работы.** Основные результаты диссертационной работы обсуждались на 14 конференциях: Международной научно-технической конференции «Физика и техника приложения волновых процессов» (Самара, 2003); V Международной конференции «Радиоэлектроника в медицине» (Москва, 2003); II научно-технической конференции «Тренажерные технологии и симуляторы» (Санкт-Петербург, 2003); XI межрегиональной научно-практической конференции «Актуальные вопросы диагностики, лечения и реабилитации больных» (Пенза, 2004); IV Международном симпозиуме «Электроника в медицине. Мониторинг, диагностика, терапия. КАРДИОСТИМ-2004» (Санкт-Петербург, 2004); X Всероссийской научно-технической конференции «Медицинские информационные системы» (Таганрог, 2006); III Международной заочной научно-практической конференции «Наука на рубеже тысячелетий» (Тамбов, 2006) и др.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 28 печатных работ и получено 5 патентов на изобретения РФ.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и 5 приложений. Изложена на 176 страницах, содержит 100 рисунков и 11 таблиц, список литературы включает 148 наименований.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулирована цель и основные задачи исследования, показана научная новизна и практическая ценность работы, приведены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе рассмотрены особенности сигнала ЭКГ и методы его анализа. Проведена систематизация методов анализа и выделены две основные группы: методы анализа ЭКГ, применяемые для клинического обследования населения, и методы анализа ЭКГ, применяемые для массового обследования населения.

Рассмотрены вопросы применения вейвлет преобразования для анализа ЭКГ. Показана высокая эффективность сплайнового вейвлет преобразования при решении задач анализа ЭКГ. Выявлена возможность аппаратной реализации сплайновых вейвлет.

Проведен анализ современных медицинских измерительных приборов, участвующих в организации макросистемы мониторинга сердечно-сосудистой системы (рис. 1).

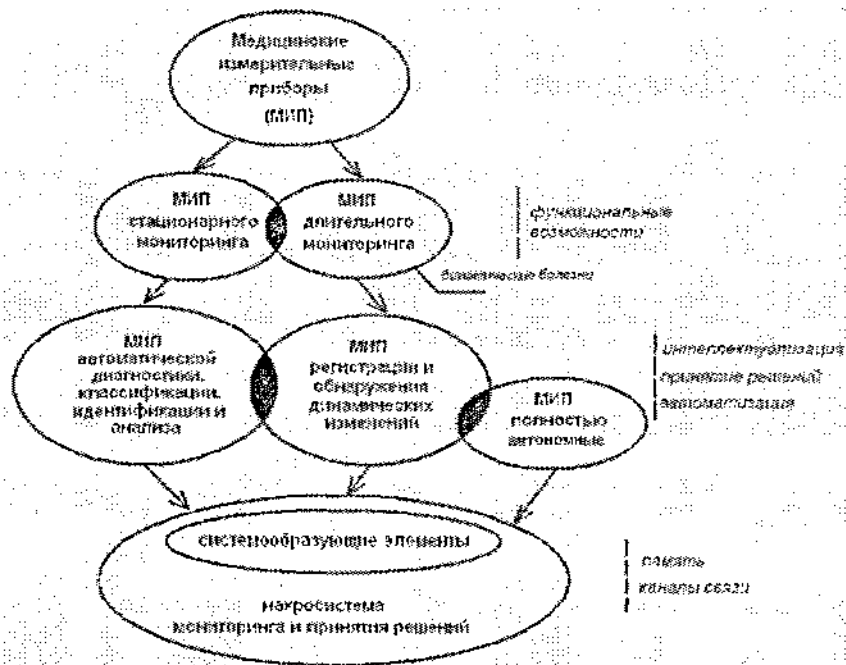


Рис. 1 Организация макросистемы мониторинга

Выявлены тенденции развития медицинских измерительных приборов:

- получение все более полной диагностической информации;
- усложнение алгоритмов обработки сигналов ЭКГ;
- усложнение алгоритмов принятия решений;
- представление информации в удобном для врача виде.

Выявлена роль АМИП среди медицинских измерительных приборов. Приведен обзор современных АМИП, применяемых в отечественном

здравоохранении, которые могут служить аналогами для разработки новых усовершенствованных АМИП.

Для АМИП существует целый ряд технических проблем, не характерных для остальных МИП. Эти проблемы связаны с неразрешимым противоречием: необходимо обеспечить повышение точности измерения и обработки первичной информации и в то же время выполнить жесткие требования по ограничению массогабаритных размеров, энергопотреблению и стоимости. Неразрешимость противоречия заключается в том, что ценой улучшения качества измерений является усложнение схемотехнических решений (увеличение массогабаритов), использование быстродействующей цифровой схемотехники (повышение энергопотребления). С учетом особенностей проектирования АМИП были сформулированы направления и этапы совершенствования, основанные на использовании алгоритма сплайнового вейвлет анализа.

Во второй главе проведен анализ математических свойств сплайновых вейвлет, который показал потенциальную возможность аппаратно-программной реализации в режиме реального времени алгоритмов сплайновых вейвлет преобразований.

В континуально-дискретной форме сплайн  $B_{m-1}$  степени  $m - 1$  описывается следующим выражением:

$$B_{m-1}(p, z^{-1}) = \left( \frac{1 - z^{-1}}{p} \right)^m. \quad (1)$$

Формула (1) предполагает возможность реализации сплайна в виде импульсной характеристики линейной импульсной системы (ЛИС), состоящей из последовательно включенных  $(m + 1)$  интеграторов и звена  $(m + 1)$ -й конечной разности.

Предложена структура, в рамках которой можно реализовать алгоритмы сплайнового вейвлет анализа сигнала ЭКГ в континуально-дискретной форме в режиме реального времени.

Решена задача синтеза структуры АЦФ (рис. 2), реализующей алгоритм сплайнового вейвлет преобразования, с учетом следующих ограничений: использование в прямом канале преобразования ИАЦП и использование в канале ОС ЦАП с ШИМ.

Проведен анализ возможности использования структур ИАЦП в АЦФ для реализации алгоритмов сплайновых вейвлет. Выбрана структура ИАЦП с однократным и многократным интегрированием, работающего без пропусков информации – сигма-дельта АЦП.

Разработана методика расчета АЦФ замкнутого типа с использованием ИАЦП, основанная на известном математическом свойстве ЛИС – свойстве эквивалентности импульсной характеристики непрерывной и дискретной частей системы (рис. 3).

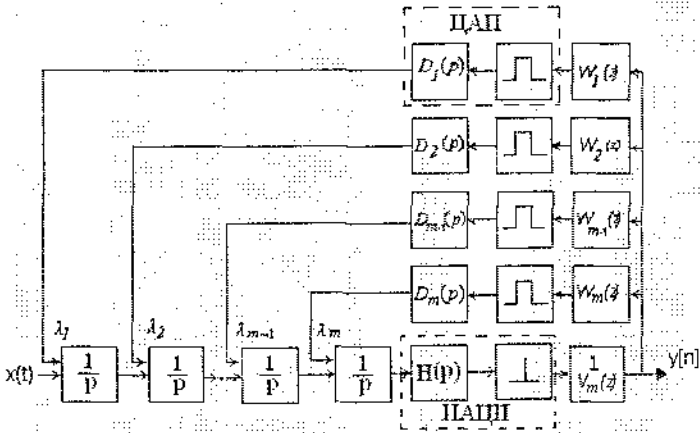
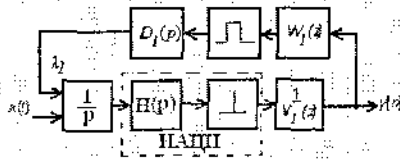
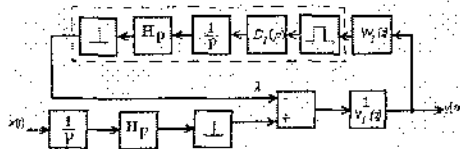


Рис. 2 Обобщенная структура АЦФ, реализующая алгоритм сплайнового вейвлет преобразования

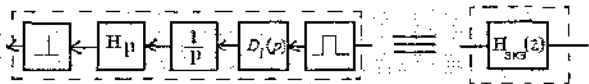
АЦФ замкнутого типа с ЦАПФ однократного интегрирования



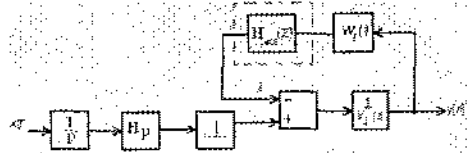
1 этап



2 этап



3 этап



4 этап



Рис. 3 Приведение ЛИС замкнутого типа к эквивалентной ЛИС разомкнутого типа



Получены значения коэффициентов цифровых КИХ и БИХ фильтров, а также масштабирующего коэффициента  $\lambda$  для структуры АЦФ с одним, двумя и тремя интеграторами в цепи прямого преобразования и одной петлей ОС, что позволило синтезировать АЦФ замкнутого типа, реализующего алгоритм сплайнового вейвлет преобразования.

Передаточная функция (ПФ) разомкнутой части АЦФ определяется из следующего выражения:

$$\begin{aligned}
 H_{\text{раз}}(z) &= \frac{1}{V_1(z) + \lambda \cdot W_1(z) \cdot H_{\text{зкв}}(z)} = \\
 &= \frac{1}{(1 + b_1 \cdot z^{-1}) + \lambda \cdot (1 + a_1 \cdot z^{-1}) \cdot H_{\text{зкв}}(z)} = \\
 &= \frac{1}{(1 + b_1 \cdot z^{-1}) + \lambda \cdot (1 + a_1 \cdot z^{-1}) \cdot \frac{(z+1)}{2 \cdot z \cdot (z-1)}} = \\
 &= \frac{2 \cdot z \cdot (z-1)}{2 \cdot (1 + b_1 \cdot z^{-1}) \cdot (z-1) + \lambda \cdot (1 + a_1 \cdot z^{-1}) \cdot (z+1)},
 \end{aligned} \tag{2}$$

где  $a$  и  $b$  – коэффициенты цифровых фильтров с конечной импульсной характеристикой (КИХ) и с бесконечной импульсной характеристикой (БИХ);  $\lambda$  – масштабный коэффициент.

Показаны результаты имитационного моделирования АЦФ с однократным, двукратным и трехкратным интегрированием в цепи прямого преобразования и одной петлей ОС, что позволило в максимальной степени приблизить математические модели АЦФ к реальным аппаратным средствам и провести необходимый комплекс инженерных исследований полученного технического решения.

Получено аналитическое решение для расчета коэффициентов замкнутой структуры ИАЦП многократного интегрирования (более третьего порядка) с широтно-импульсной модуляцией в цепи обратной связи, основанное на условии симметрии импульсов ШИМ сигнала относительно некоторой точки, выбранной внутри интервала цикла преобразования (рис. 4).

Математически условия формирования многоимпульсного ШИМ сигнала для структуры АЦФ с ИАЦП с многократным интегрированием имеют вид

$$h_1 = h_s - a_1 \cdot \varepsilon; h_2 = h_s + a_1 \cdot \varepsilon; h_3 = h_s - a_2 \cdot \varepsilon; h_4 = h_s - a_2 \cdot \varepsilon, \tag{3}$$

где коэффициент  $a_1$  модели принят равным единице, а коэффициент  $a_2$

имеет численное значение  $a_2 = \frac{\sqrt[3]{2}}{2} = 0,7937005260$ .

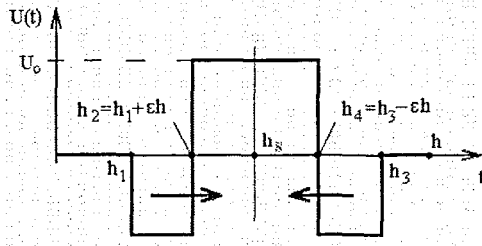


Рис. 4 ШИМ сигнал

Разработана методика расчета АЦФ с использованием ЦАП с ШИМ в петле ОС. Полученные значения коэффициентов цифровых КИХ и БИХ фильтров, а также масштабирующего коэффициента  $\lambda$  для структуры АЦФ, реализующего сплайн второго порядка с ШИМ в ОС и ИАЦП однократного интегрирования в прямой цепи преобразования, позволили разработать практические структуры АЦФ замкнутого типа, ориентированные на использование современных микроконтроллеров для применения в АМИП для контроля за ССС.

Представлены результаты имитационного моделирования структуры АЦФ, реализующего сплайн второго порядка с ШИМ в ОС и ИАЦП однократного интегрирования в прямой цепи преобразования.

Для моделирования непрерывно-дискретных алгоритмов сплайновых вейвлет фильтров аналого-дискретную часть АЦФ дополнена цифровым КИХ фильтром, реализующим алгоритм ортогонализации. Задача синтеза коэффициентов ЦФ ортогонализации рассмотрена на примере частного случая структуры, реализующей алгоритм вейвлета Хаара, весовая функция которого обладает нулевой гладкостью. Поэтому для вейвлет более высоких порядков представленная структура дополнена фильтрами интерполяции.

Разработана методика расчета коэффициентов ЦФ интерполятора, реализующего сплайновую интерполирующую весовую функцию.

ПФ ЦФ интерполятора определяется по следующей формуле:

$$\Omega(z) = \tilde{E}_n(z) \cdot z^m \cdot (1 + a_1 \cdot (z^{-1} + z^1) + \dots + a_m \cdot (z^{-m} + z^m)), \quad (4)$$

где  $\tilde{E}_n(z)$  – многочлены Эйлера–Фробениуса,  $a$  – весовые коэффициенты.

Условию центральной симметрии отвечают только нечетные степени многочленов Эйлера–Фробениуса. Для четных степеней учтен тот факт, что середина интервала сплайновой функции находится между узлами дискретизации (рис. 5). При расчете  $\tilde{E}_n(z)$  введено смещение узлов отсчета на полшага дискретизации:

$$E_m(z) = Z(B_m(t)) \Big|_{t=hn+\frac{h}{2}}. \quad (5)$$

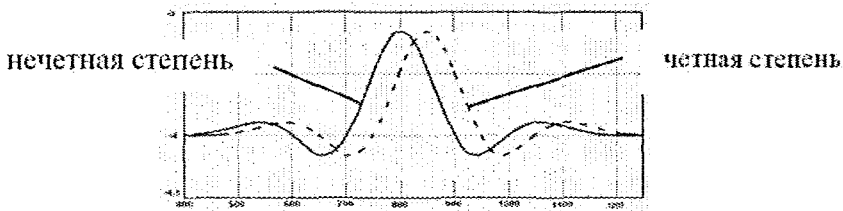


Рис. 5 Сплайновая интерполирующая функция

Приведены модифицированные, с учетом выражения 5, многочлены Эйлера–Фробениуса до 11 порядка, необходимые для расчета сплайновых интерполирующих фильтров. Рассчитаны коэффициенты ПФ ЦФ интерполятора до 11 порядка с учетом ограничений, связанных с реализацией КИХ фильтров до 7 порядка.

В третьей главе разработана структура сплайнового вейвлет фильтра на уровне Simulink модели, в которой выделены три независимые компоненты:

- аналого-цифровой фильтр, реализующий сплайновый вейвлет алгоритм;
- цифровой интерполирующий КИХ фильтр, реализующий алгоритм интерполяции;
- блок цифровых КИХ фильтров, реализующих алгоритмы детализации и аппроксимации входных сигналов и обеспечивающих получение коэффициентов ортогонального сплайнового вейвлет разложения (фильтры ортогонализации).

Проведено исследование сплайновых вейвлет фильтров для анализа сигналов ЭКГ. Целью исследования является определение возможностей выделения «тонкой структуры» сигнала ЭКГ (рис. 6).

Это предполагает последовательность следующих процедур:

- непрерывно-дискретное сплайновое вейвлет преобразование сигнала ЭКГ (рис. 7,а);
- дискретно-непрерывное сплайновое вейвлет преобразование сигнала ЭКГ (рис. 7,б).

Коэффициенты непрерывно-дискретного сплайнового вейвлет преобразования содержат информацию по энергии отдельных компонент сигнала ЭКГ и моменту времени их появления. Дискретно-непрерывное сплайновое вейвлет преобразование позволяет визуализировать эти компоненты и определить форму высокочастотных низкоамплитудных компонент сигнала ЭКГ, которые являются важными элементами алгоритма диагностики ССС. Информацию несет числовое значение временной задержки их появления по отношению к комплексу QRS, а также их «частота», т.е. номер гармоники сплайнового вейвлет преобразования.

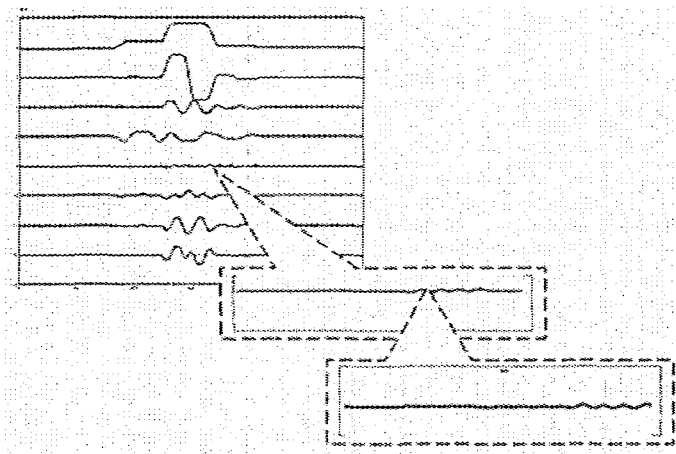


Рис. 6 Выделение «тонкой структуры» сигнала ЭКГ

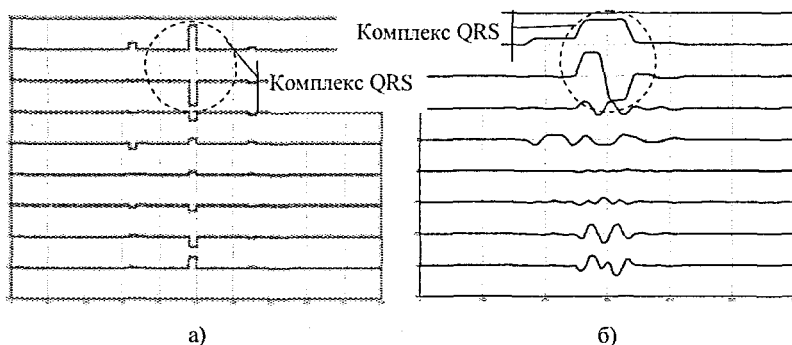


Рис. 7 Сплайновое вейвлет преобразование сигнала ЭКГ

Рассмотрена задача уменьшения влияния внешних помех и искажения формы сигнала ЭКГ с учетом наиболее распространенных типов внешних помех, присутствующих в ЭКГ и особенностей применения сплайнового вейвлет фильтра. Исследованы влияние степени гладкости базисной функции при анализе сигнала ЭКГ, алгоритмы корректирующих ЦФ и оценка погрешностей измерительного канала.

Сравнивая временные диаграммы линейной, параболической и кубической аппроксимации ЭКГ сигнала, сделан вывод, что оптимальным вариантом представляется применение вейвлет с переменной гладкостью, которая устанавливается аппаратно в зависимости от характера процесса.

Решена задача выбора степени гладкости базисной функции, исходя из требований уровня помехоустойчивости и неравномерности АЧХ, и разработки алгоритмов корректирующих ЦФ, коэффициенты которых выбираются из условия обеспечения свойств интерполяции.

Проведена оценка погрешности сплайнового интерполирующего фильтра по двум критериям: оценка максимума модуля неравномерности АЧХ в интервале частот полосы пропускания и оценка полосы задерживания по заданному уровню АЧХ.

На рисунке 8 приведены логарифмические графики зависимости максимальной погрешности для порядков ЦФ от второго до пятого. Установлена зависимость между гладкостью сплайновой вейвлет функции и неравномерностью АЧХ: зависимость носит характер, приближенный к монотонной функции, и для высоких степеней гладкости (сплайны порядков от 5 и выше) алгоритм коррекции плохо обусловлен.

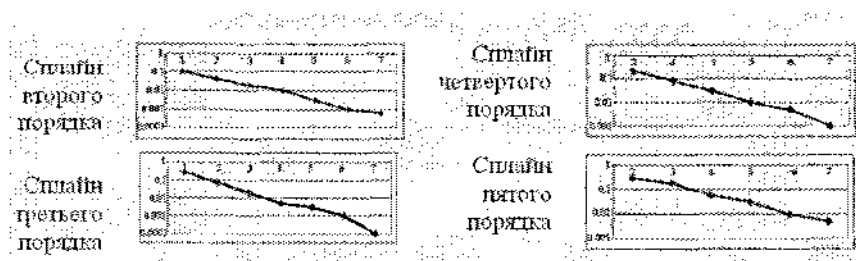


Рис. 8 Графики зависимости максимальной погрешности для порядков ЦФ от второго до пятого

В четвертой главе выбран аналог АМИП, выявлены его недостатки в части функциональных возможностей и предложено техническое решение по реализации алгоритма сплайновых вейвлет. Вариант функциональной схемы усовершенствованного АМИП, реализующего сплайн второго порядка с расчетной точностью 20 разрядов, с ШИМ в петле ОС приведен на рисунке 9.

Поступающий в микроконтроллер поток цифровой информации представляет собой последовательность коэффициентов сплайнового вейвлет разложения входного сигнала ЭКГ.

Усовершенствованный АМИП характеризуется по отношению к аналогу, во-первых, расширенными функциональными возможностями:

- выполняются в реальном масштабе времени алгоритмы непрерывно-дискретного и дискретно-непрерывного сплайнового вейвлет преобразования входного сигнала до пятого уровня разложения при максимальной тактовой частоте 1–2 кГц, что позволяет выявить «тонкую структуру» сигнала ЭКГ;

- устанавливается аппаратно гладкость сплайновых вейвлет и выбирается масштаб базисной функции при сплайновом вейвлет разложении.

- Во-вторых, улучшенными техническими характеристиками:
- повышается помехоустойчивость к широкополосным помехам;
  - увеличивается точность измерения входного сигнала ЭКГ за счет использования высокоточных интегрирующих АЦП с разрядностью 16 бит, реализующих сплайновые весовые функции.

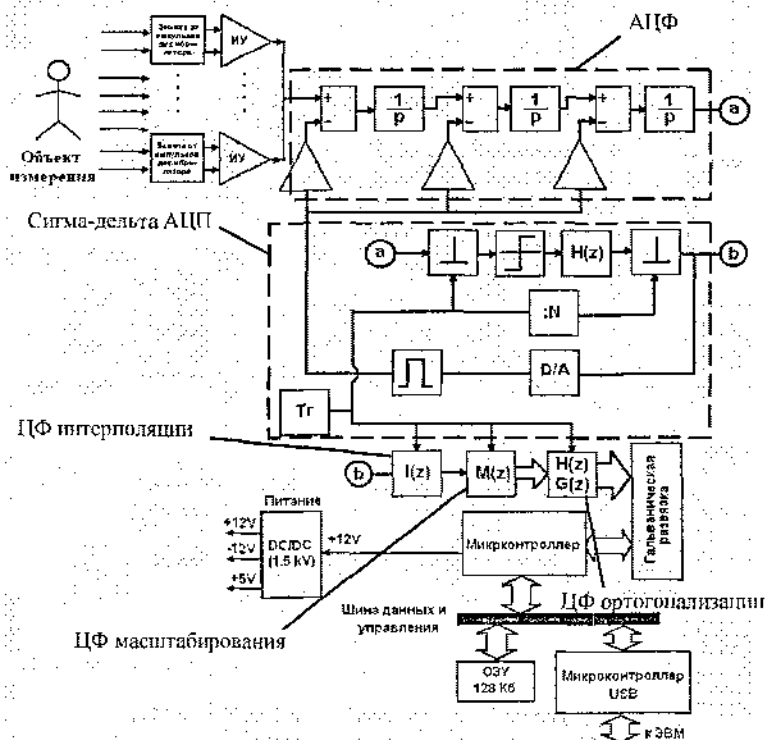


Рис. 9 Схема усовершенствованного АМИП

Для оценки погрешностей измерительного канала исследованы структуры модуляторов, реализующих сплайны от первого до четвертого порядков, и ЦФ дециматоры с количеством каскадов от 1 до 8 и с коэффициентами передискретизации из ряда 2, 4, ..., 256, входящие в состав сигма-дельта АЦП усовершенствованного АМИП.

Получены численные оценки погрешности измерительного канала для выбранной структуры сигма-дельта АЦП по минимаксному критерию и по среднеквадратичному отклонению (рис. 10).

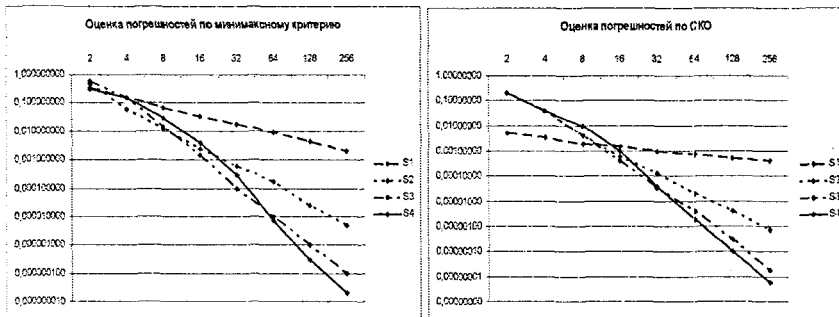


Рис. 10 Оценка погрешности измерительного канала

Разработаны принципиальные схемы в САПР PSpice основных элементов усовершенствованного АМИП для практического использования полученных теоретических результатов.

Сравнение временных диаграмм результатов имитационного моделирования в Simulink и работы принципиальных схем показали высокую степень совпадения, что гарантирует практическую реализуемость усовершенствованных АМИП на выбранной элементной базе.

При выборе в качестве комплектующих элементов принципиальной схемы были заложены требования технологии производства НИИ физических измерений (г. Пенза), где разрабатывается макет образца усовершенствованного АМИП.

Предварительные экспериментальные исследования по оценке эффективности сплайнового вейвлет анализа сигналов ЭКГ в реальном масштабе времени и сопоставление аналогичных результатов, полученных с использованием специального оборудования в кардиологическом отделении Областной клинической больницы им. Н. Н. Бурденко (г. Пенза) показали высокую степень совпадения результатов, что подтверждает перспективность использования АМИП с расширенными функциональными возможностями во врачебной практике.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы.

В приложениях представлены:

- 1) результаты исследований эффективности использования четырех типов модуляторов, реализующих сплайны от первого до четвертого порядков, и восьми вариантов многокаскадных ЦФ дециматоров, входящих в структуру сигма-дельта АЦП усовершенствованного АМИП;
- 2) методика расчета и полученные значения коэффициентов интерполирующих фильтров до II порядка, входящих в структуру сплайнового вейвлет фильтра усовершенствованного АМИП;
- 3) документы о внедрении результатов диссертационной работы.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. На основе проведенного анализа применяемых в кардиологии вейвлет преобразований установлена высокая эффективность применения сплайновых вейвлет для анализа сигналов ЭКГ, что расширило функциональные возможности существующих в кардиологии АМИП.

2. Разработана обобщенная структура сплайновых вейвлет фильтров в континуально-дискретной форме, что позволило повысить точность измерения и обработки входных сигналов ЭКГ в режиме реального времени по сравнению с альтернативными аналогами.

3. Предложена и теоретически обоснована методика аналитического расчета коэффициентов сплайновых вейвлет фильтров, что является математической основой для инженерной методики проектирования элементов АМИП, обладающих повышенной помехоустойчивостью.

4. Найдено аналитическое решение для расчета коэффициентов замкнутой структуры ИАЦП многократного интегрирования с широтно-импульсной модуляцией в цепи обратной связи. Это позволило разработать практические структуры АЦФ замкнутого типа в составе АМИП, ориентированных на использование микроконтроллеров широкого применения, что важно при серийном производстве.

5. Разработан и технически реализован метод анализа и синтеза сплайновых вейвлет фильтров, в основу которого положен структурно-алгоритмический подход, что позволило решить проблему адекватности и реализуемости алгоритма сплайнового вейвлет преобразования.

6. Разработан и экспериментально исследован конкурентно способный вариант АМИП на уровне принципиальных схем, отличающийся от аналога встроенными алгоритмами сплайнового вейвлет преобразования сигнала ЭКГ в режиме реального времени. Результаты экспериментального исследования приведены в приложении к диссертационной работе.

## ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### Статьи в журналах, рекомендованных ВАК

1. Бурукина, И. П. Особенности анализа электрокардиографической информации с использованием вейвлет-преобразования / И. П. Бурукина, О. Н. Бодин // Медицинская техника. – 2006. – № 2. – С. 24–26.

2. Бурукина, И. П. Аппаратно-программная реализация сплайновых вейвлет для анализа ЭКГ / И. П. Бурукина // Известия ТРТУ. – 2006. – № 11. – С. 57–58. – (Тематический выпуск. Медицинские информационные системы).

3. Бурукина, И. П. Использование моделирования трехмерного компьютерного изображения сердца для визуализации состояния сердечно-



сосудистой системы / И. П. Бурукина, О. Н. Бодин, А. Н. Митрошин // Вестник аритмологии. – 2004. – № 35. – С. 194–195.

4. Бурукина, И. П. Автоматизированная информационная система для анализа электрокардиосигналов / И. П. Бурукина, О. Н. Бодин, Л. Ф. Бартош, Ф.Л. Бартош // Вестник аритмологии. – 2004. – №35. – С. 195–196.

#### **Статьи в журналах**

5. Burukina, I. P. Specific features of electrocardiographic information analysis based on wavelet transform / I. P. Burukina, O. N. Bodin // Biomedical Engineering. Wednesday. – 2006. – August 09. – P. 58–62.

6. Бурукина, И. П. Возможности вейвлет для обработки сигналов ЭКГ / И. П. Бурукина // Информация о передовом опыте ; Пензенский ЦНТИ. – 2006. – № 4. – С. 1–8.

#### **Статьи в материалах международных, всероссийских конференций и симпозиумов**

7. Бурукина, И. П. Анализ особенностей проектирования автономных измерительных медицинских приборов / И. П. Бурукина // Биотехнические, медицинские и экологические системы и комплексы (Биосистемы–2006) : сборник статей XIX Всероссийской научно-практической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. – Рязань, 2006. – С. 180–184.

8. Бурукина, И. П. Аппаратно-программная реализация сплайновых вейвлет для анализа ЭКГ / И. П. Бурукина // Медицинские информационные системы (МИС–2006) : сборник тезисов докладов Всероссийской научно-технической конференции. – Таганрог : Изд-во ТРТУ, 2006. – С. 20–21.

9. Бурукина, И. П. Использование многократного интегрирования с ШИМ в медицинских приборах / И. П. Бурукина // Наука на рубеже тысячелетий : сборник статей 3-й Международной заочной научно-практической конференции. – Тамбов : ОАО «Тамбовполиграфиздат», 2006. – С. 150–155.

10. Бурукина, И. П. Вопросы проектирования микро мощных автономных медицинских измерительных приборов / И. П. Бурукина, Б. В. Чувькин // Методы, средства и технологии получения и обработки измерительной информации : сборник тезисов докладов Международной научно-технической конференции. – Пенза : Информационно-издательский центр ПГУ, 2006. – С. 72–73.

11. Бурукина, И. П. Использование метода ШИМ в первичных преобразователях медицинских приборов / И. П. Бурукина, Б. В. Чувькин // Методы, средства и технологии получения и обработки измерительной информации : сборник тезисов докладов Международной научно-

технической конференции. – Пенза : Информационно-издательский центр ПГУ, 2006. – С. 73–74.

12. Бурукина, И. П. Визуализация повреждений миокарда на синтезированном изображении сердца / И. П. Бурукина, О. Н. Бодин, Л. Ф. Бартош, Ф. Л. Бартош // Методы и средства обработки сложной графической информации : сборник тезисов докладов VII Всероссийской с участием стран СНГ конференции. – Нижний Новгород, 2003. – С. 88–89.

13. Бурукина, И. П. Моделирование распространения волны возбуждения в миокарде / И. П. Бурукина, О. Н. Бодин, А. В. Кузнецов // Физика и техника приложения волновых процессов : сборник тезисов докладов Международной научно-технической конференции. – Самара, 2003. – С. 94–95.

14. Бурукина, И. П. Анализ кардиологической информации с помощью нейронной сети / И. П. Бурукина, О. Н. Бодин, А. В. Кузнецов, И. А. Ливанова // Радиоэлектроника в медицине : сборник тезисов докладов V Международной конференции. – М., 2003. – С. 103–104.

15. Бурукина, И. П. Использование вейвлет преобразования для анализа информационных параметров электрокардиосигналов / И. П. Бурукина, О. Н. Бодин // Измерения, автоматизация и моделирование в промышленности и научных исследованиях : сборник тезисов докладов IV Всероссийской научно-технической конференции. – Бийск, 2003. – С. 61–62.

16. Бурукина, И. П. Использование нейронных сетей для анализа электрокардиографической информации / И. П. Бурукина, О. Н. Бодин, А. В. Кузнецов // Интерактивные системы: проблемы человеко-компьютерного взаимодействия : сборник тезисов докладов V Международной конференции. – Ульяновск, 2003. – С. 26–27.

17. Бурукина, И. П. Исследование вейвлет-анализа электрокардиосигналов / И. П. Бурукина, О. Н. Бодин, А. Н. Митрошин // Актуальные вопросы диагностики, лечения и реабилитации больных : сборник тезисов докладов XI межрегиональной научно-практической конференции. – Пенза, 2004. – С. 38–39.

18. Бурукина, И. П. Обучающий комплекс для студентов-медиков с использованием визуализации повреждений миокарда на синтезированном изображении сердца / И. П. Бурукина, О. Н. Бодин, А. Н. Митрошин, А. В. Кузнецов // Тренажерные технологии и симуляторы : сборник тезисов докладов II научно-технической конференции. – СПб., 2003. – С. 45–46.

19. Бурукина, И. П. Методология анализа ЭКС в автоматизированной информационной системе врача-кардиолога / И. П. Бурукина, О. Н. Бодин // Экономико-организационные проблемы проектирования применения информационных систем : сборник тезисов докладов VII Международной научно-практической конференции. – Ростов-на-Дону, 2003. – С. 31–32.

### Статьи в сборниках научных трудов

20. Бурукина, И. П. Системы мониторинга, применяемые в клинической практике отечественного здравоохранения / И. П. Бурукина // Автоматизация и управление в технических системах : межвузовский сборник научных трудов. – Вып. 24. – Пенза : Информационно-издательский центр ПГУ, 2005. – С. 160–164.

21. Бурукина, И. П. Использование сплайновых вейвлет для воспроизведения сигналов ЭКГ / И. П. Бурукина // Университетское образование – 2006 : сборник научных трудов. – Пенза : Информационно-издательский центр ПГУ, 2006. – С. 155–160.

22. Бурукина, И. П. Гладкость базисных функций сплайновых вейвлет / И. П. Бурукина // Вычислительные системы и технологии обработки информации : межвузовский сборник научных трудов. – Вып. 36. – Пенза : Информационно-издательский центр ПГУ, 2006. – С. 88–94.

23. Бурукина, И. П. Аппаратная реализация алгоритмов вейвлет анализа сигнала ЭКГ / И. П. Бурукина, Б. В. Чувькин // Информационно-измерительные системы : межвузовский сборник научных трудов. – Пенза : Информационно-издательский центр ПГУ, 2006. – С. 113–119.

24. Бурукина, И. П. Синтез имитационных электрокардиосигналов для настройки компьютерной диагностической системы / И. П. Бурукина, О. Н. Бодин, Н. А. Сипягин // Университетское образование – 2004 : сборник научных трудов. – Пенза : Информационно-издательский центр ПГУ, 2004. – С. 120–126.

25. Бурукина, И. П. Применение нейронных сетей в технологическом конвейере компьютерной графики / И. П. Бурукина, О. Н. Бодин, А. А. Борисов // Университетское образование – 2004 : сборник научных трудов. – Пенза : Информационно-издательский центр ПГУ, 2004. – С. 90–95.

26. Бурукина, И. П. Устройство сопряжения электрокардиографа с персональным компьютером типа IBM PC / И. П. Бурукина, О. Н. Бодин, А. А. Борисов // Университетское образование – 2004 : сборник научных трудов. – Пенза : Информационно-издательский центр ПГУ, 2004. – С. 190–195.

27. Бурукина, И. П. Построение электрокардиограмм на электрической оси сердца / И. П. Бурукина, О. Н. Бодин, И. П. Гераськин, А. С. Маслаков // Актуальные проблемы науки и образования : сборник статей. – Пенза, 2003. – С. 55–60.

### Авторские свидетельства

28. Бурукина, И. П. Вейвлет анализ кардиосигналов / И. П. Бурукина // Пензенский ЦНТИ, ИЛ № 267-06. – Пенза, 2006. – С. 1–6.

29. Устройство для регистрации электрокардиосигналов : пат. 2258457 Рос. Федерация / И. П. Бурукина, О. Н. Бодин,

В. В. Родионов. – № 2004102333 ; заявл. 27.01.04 ; опубл. 20.08.05, Бюл. № 23. – 13 с.

30. Устройство для регистрации электрокардиосигналов : пат. 2256400 Рос. Федерация / И. П. Бурукина, О. Н. Бодин, Л. Ф. Бартош, Ф. Л. Бартош. – № 2003130909/14 ; заявл. 20.10.2003 ; опубл. 20.07.2005, Бюл. № 20. – 10 с.

31. Устройство для регистрации результирующей ЭКГ на фронтальной и горизонтальной плоскостях : пат. 2252695 Рос. Федерация / И. П. Бурукина, О. Н. Бодин, Л. Ф. Бартош, Ф. Л. Бартош, И. В. Аникушина, И. Г. Гнезов, К. А. Тарнопольский. – № 2004102334/14 ; заявл. 27.01.2004 ; опубл. 27.05.2005, Бюл. № 15. – 12 с.

32. Способ определения основных функциональных показателей многомерной динамики сердца : пат. 2264786 Рос. Федерация / И. П. Бурукина, О. Н. Бодин, А. А. Митин, В. В. Огоньков, А. И. Митрошин, Л. А. Бондаренко, Л. Е. Рудакова. – № 2004108078/14 ; заявл. 19.03.2004 ; опубл. 27.11.2005, Бюл. № 33. – 11 с.

33. Способ диагностики состояния сердечно-сосудистой системы : пат. 2257838 Рос. Федерация / И. П. Бурукина, О. Н. Бодин, Е. Г. Агапов, А. В. Адамов, А. В. Кузьмин. – № 2004107011/14 ; заявл. 09.03.2004 ; опубл. 10.08.2005, Бюл. № 22. – 25 с.

*БУРУКИНА Ирина Петровна*

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АВТОНОМНЫХ  
МЕДИЦИНСКИХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ  
НА ОСНОВЕ СПЛАЙНОВЫХ ВЕЙВЛЕТ ФИЛЬТРОВ**

Специальность 05.11.17 – приборы, системы и изделия  
медицинского назначения

Подписано в печать 26.02.07. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Усл. печ. л. 1,40.  
Заказ № 003855. Тираж 100.

---

Информационно-издательский центр ПГУ  
Пенза, Красная, 40, т.: 56-47-33