

модель с конечной импульсной характеристикой и приблизительно в 13 раз меньшего количества информации чем «частотная модель».

Таким образом, параметрическая модель с бесконечной импульсной характеристикой является наиболее адекватной реальному биообъекту среди всех рассмотренных моделей. Важным преимуществом этой модели, по сравнению с другими, также является ее высокая экстраполирующая способность, позволяющая получать заданную точность аппроксимации импульсной реакции биообъекта на бесконечном временном интервале. Следовательно, применение для обработки первичной измерительной информации пассивных электрических свойств, идентификации этой модели позволяет осуществить наиболее полное извлечение полезной информации.

В заключение необходимо отметить, что реализация алгоритмов параметрической идентификации применительно к моделям с бесконечной импульсной характеристикой является значительно более сложной в вычислительном отношении, по сравнению с реализацией алгоритма корреляционных оценок импеданса. Это является главным недостатком, ограничивающим область применения методов параметрической идентификации в реальных ИИС.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Овчаренко К.И., Седов В.П.* Неинвазивная диагностика нарушений периферического и церебрального кровообращения: Метод. рекомен. ЛОО при СМ СССР. – М. – 1990. 47 с.
2. *Yan Cai and Secher N.H.* Deviations in the central blood volume as assessed by two-frequency electrical impedance. 11th International Conference on Electrical Bio-Impedance 2001. – Oslo. – 2001.
3. *Льонг, Леннарт.* Идентификация систем: Теория для пользователя / Пер. с англ. А.С. Манделя, А.В. Назина; Под ред. Я.З. Ципкина. – М.: Наука, 1991.

УДК 621.3.049.77

**И.П. Бурукина**

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

Развитие медицинской науки и новые идеи в клинической медицине ставят всё 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 и ее обработки в режиме реального времени. Этот процесс привел к созданию медицинских измерительных приборов с новыми инструментальными методами исследования.

Приоритетным направлением в медицине является мониторинг здоровья населения. Автономные медицинские измерительные приборы (АМИП) являются ключевым звеном в системах мониторинга различного типа, работают в условиях непосредственного контакта с объектом исследования в реальном режиме времени и позволяют повысить качество профилактической и лечебно-диагностической работы. В медицинской практике широко используются АМИП, предназначенные для контроля деятельности сердечно-сосудистой системы по электрокардиограмме. Это связано с тем, что основная доля причин смертно-

сти людей в трудоспособном возрасте связана с сердечно-сосудистыми заболеваниями. Поэтому вопросы разработки и совершенствования АМИП для объективной оценки и прогнозирования состояния сердечно-сосудистой системы актуальны.

Современный уровень применения вейвлет для анализа ЭКГ охватывает значительную часть достижений в области теории вейвлет, разработанной в 90-е годы XX в. и широко освещен в работах таких авторов, как Ли, Иванов, Маллата, Поликара, Цыганкова, Микеллиса, Петрова, Месте и др. В медицинских измерительных приборах, причем речь идет только о сложных медицинских комплексах, применение вейвлет-преобразования началось в 90-х годах. В области массового медицинского обслуживания населения имеются только первые образцы, в которых вейвлеты используются для решения задач сжатия данных и фильтрации сигнала ЭКГ. Поэтому представляется перспективным использование для усовершенствования АМИП сплайновых вейвлет-фильтров.

С целью обеспечения полноты исследований, при решении задачи определения направлений и этапов совершенствования АМИП, связанных с достижениями в области микроэлектроники и информационных технологий, была выбрана и проанализирована классификация медицинских приборов. Из всей совокупности медицинских измерительных приборов (рис. 1) можно выделить группу приборов, относящихся к полностью автономным.

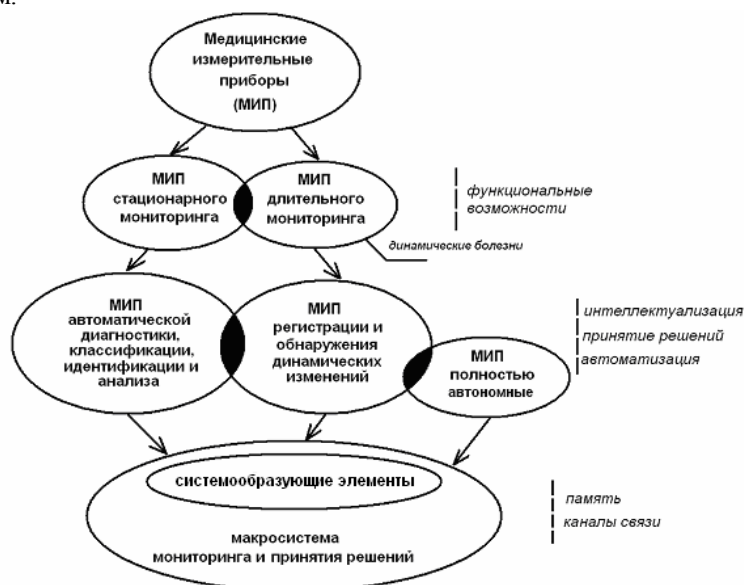


Рис. 1. Медицинские измерительные приборы. Классификация

Для АМИП существует целый ряд технических проблем, не характерных для остальных приборов [1]. 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. Учитывая данные особенности, были сформулированы направления усовершенствования АМИП:

- совершенствование элементной базы;
- совершенствование алгоритмов измерений и обработки входной информации.

Эти два направления взаимосвязаны друг с другом, т.е. развитие элементной базы стимулирует использование все более совершенных сложных математических методов для обработки входной информации.

Первым этапом усовершенствования АМИП является анализ математических свойств сплайновых вейвлет, который показал, что существует возможность прямой реализации алгоритмов сплайновых вейвлет в рамках одной линейной импульсной структуры (ЛИС). Полностью реализовать алгоритмы сплайнового вейвлет-анализа в континуально-дискретной форме можно путем дополнения структуры цифровыми фильтрами, реализующими алгоритмы интерполяции, масштабирования и ортогонализации. Данную структуру можно рассматривать как обобщенную структуру аналого-цифрового фильтра (АЦФ), содержащую необходимый набор элементов для аппаратно-программной реализации сплайновых вейвлет в режиме реального времени.

Применение ИАЦП в усовершенствованных АМИП позволяет повысить точность измерения им обработки входной информации. В связи с этим возникает задача разработки математической модели АЦФ с использованием ИАЦП однократного и многократного интегрирования.

Для определения общего количества расчетных коэффициентов КИХ- и БИХ-фильтров в обобщенной структуре АЦФ с ИАЦП воспользовались методом приведения ЛИС замкнутой структуры к эквивалентной ЛИС разомкнутой структуры. Корректность математических расчетов проверялась методом имитационного моделирования в системе Simulink, что позволило в максимальной степени приблизить математические модели АЦФ к реальным аппаратным средствам и провести необходимый комплекс инженерных исследований полученного технического решения.

Важнейшим элементом замкнутой структуры АЦФ является формирователь сигналов обратной связи, в состав которого входит ЦАП с промежуточным ШИМ-сигналом. Было определено аналитическое решение для расчета коэффициентов замкнутой структуры ИАЦП многократного интегрирования (более третьего порядка) с широтно-импульсной модуляцией в цепи обратной связи [2], основанное на условии симметрии импульсов ШИМ-сигнала относительно некоторой точки, выбранной внутри интервала цикла преобразования (рис. 2), где коэффициент  $a_1$  модели принят равным единице, а коэффициент  $a_2$  имеет численное значение  $a_2 = \frac{\sqrt[3]{2}}{2} = 0,7937005260$ .

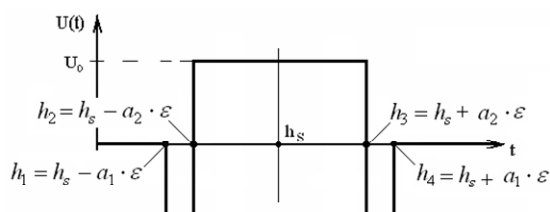


Рис. 2. Графическое представление ШИМ сигнала

Для моделирования непрерывно-дискретных алгоритмов сплайновых вейвлет-фильтров необходимо дополнить аналого-дискретную часть АЦФ цифровым КИХ-фильтром, реализующим алгоритм ортогонализации. Задача синтеза коэффициентов ЦФ ортогонализации рассмотрена на примере частного случая структуры, реализующей алгоритм вейвлета Хаара. Вейвлет Хаара обладает нулевой гладкостью, поэтому для вейвлет более высоких порядков представленную структуру необходимо дополнить фильтрами интерполяции.

На рис. 3 приведен фрагмент Simulink-модели сплайнового вейвлет фильтра, реализующего вейвлет-преобразование сигнала ЭКГ базисной функцией в виде кубического сплайна. Сходство исходного сигнала ЭКГ с восстановленным по вейвлет-коэффициентам сигналом ЭКГ свидетельствует о корректности проведенного сплайнового вейвлет-преобразования.

Коэффициенты континуально-дискретного сплайнового вейвлет-преобразования содержат информацию по энергии отдельных компонент сигнала ЭКГ и моменту времени их появления. Дискретно-континуальное сплайновое вейвлет-преобразование позволяет визуализировать эти компоненты и определить форму высокочастотных низкоамплитудных компонент сигнала ЭКГ, которые являются важными элементами алгоритма диагностики ССС.

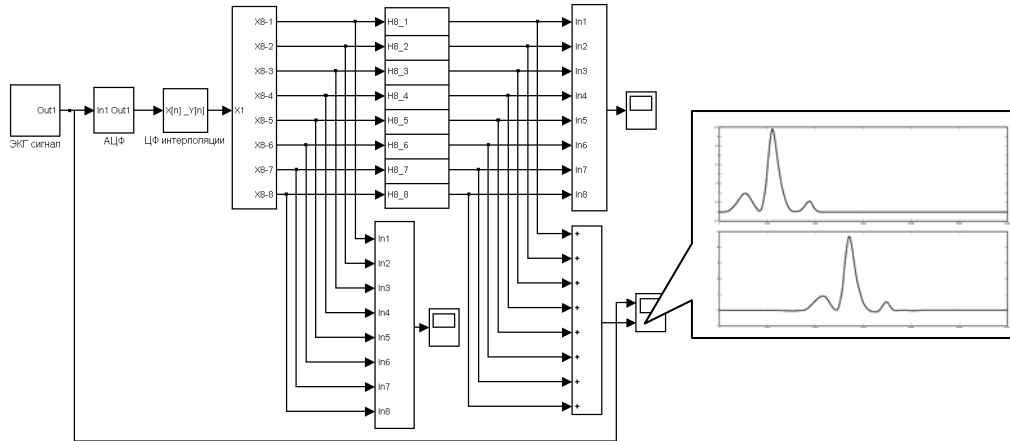


Рис. 3. Фрагмент Simulink модели сплайнового вейвлет фильтра

Схема усовершенствованного АМИП приведена на рис. 4.

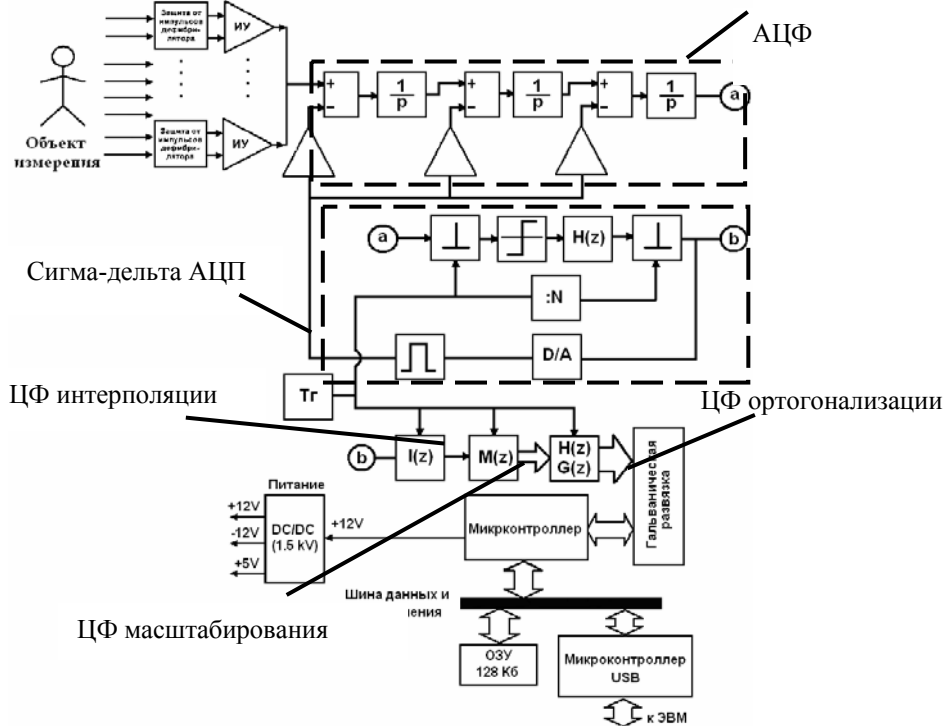


Рис. 4. Схема усовершенствованного АМИП

За аналог усовершенствованного АМИП взят кардиорегистратор «РИК-2000» (Фирма СЭМ, г. Новосибирск). Отличием усовершенствованной структуры АМИП является отсутствие отдельных блоков ФНЧ и ФВЧ. В функциональную структуру усовершенствованного АМИП дополнительно введены ЦФ интерполяции, ЦФ масштабирования и ЦФ ортогонализации. Поступающий в микроконтроллер поток цифровой информации представляет собой последовательность коэффициентов сплайнового вейвлет-разложения входного сигнала ЭКГ.

Таким образом, усовершенствованный АМИП характеризуется по отношению к аналогу улучшенными техническими характеристиками и расширенными функциональными возможностями. Во-первых, повышается помехоустойчивость к широкополосным помехам и увеличивается точность измерения входного сигнала ЭКГ за счет использования высокоточных интегрирующих АЦП с разрядностью 16 бит, реализующих сплайновые весовые функции. Во-вторых, 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. В-третьих, аппаратно устанавливается гладкость сплайновых вейвлет и выбирается масштаб базисной функции.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Бурукина И.П.* Анализ особенностей проектирования автономных измерительных медицинских приборов // 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.
2. *Бурукин, И. П.* Использование многократного интегрирования с ШИМ в медицинских приборах // Наука на рубеже тысячелетий: Сборник статей 3-й Международной заочной научно-практической конференции. – Тамбов. – 2006. – С. 150–155.

УДК 616.71

**М.А. Сидорова, Н.А. Ерушова**

#### **СИСТЕМА СКРИНИНГОВОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ГЕМОСТАЗА**

В настоящее время одной из важнейших проблем медицины является высокая смертность населения России из-за сердечно-сосудистых заболеваний. Данный класс заболеваний практически всегда сопровождается нарушениями гемодинамики и, конкретно, тромбозами, опасными увеличением риска внезапной смерти. В Европе смертность от сердечно-сосудистых заболеваний снижается, а в России – продолжает расти. Ежегодно из-за осложнений тромбозов в нашей стране погибает 1 млн человек [1]. В связи с этим особую значимость приобретает проблема качественной диагностики тромбозов и эмболий с целью своевременного предотвращения осложнений данных заболеваний.

Несмотря на обилие различных методов и средств диагностики тромботических состояний, практически всегда процесс постановки диагноза длителен и сопряжен с множественными анализами крови и повторяющимися через определенный промежуток времени томографическими, ангиографическими или другими неинвазивными методами. Вместе с тем все эти исследования в некоторых случаях не могут дать адекватный результат, хотя и требуют затрат времени и материальных ресурсов, поэтому для назначения ком-