

С. Ф. Свинын, Л. Э. Хаймина, Е. А. Латухина, А. И. Попов

## МЕДИЦИНСКАЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ

Рассматривается портативная медицинская информационно-измерительная система, предназначенная для проведения функциональной диагностики состояния органов желудочно-кишечного тракта человека. Описываются методы математической обработки электрогастрограмм, в том числе подход с позиций теории вейвлет-анализа сигналов.

*Ключевые слова:* биомедицинские сигналы, гастроволны, спектральный анализ, доминантная частота, электрогастрография, вейвлет.

**Введение.** Для решения проблем диагностики состояния органов брюшной полости человека широко применяются современные инструментальные средства, причем в последнее время значительно возрастает роль новых информационных технологий. Одним из главных проявлений мышечной активности органов желудочно-кишечного тракта (ЖКТ) являются так называемые медленные перистальтические волны (МПВ) [1]. Колебания мышц преобразуются в биоэлектрические сигналы и передаются на поверхность тела, где регистрируются специальными приборами — электрогастрографами. Методы обработки сигналов с использованием компьютера обеспечивают возможность перехода от субъективного анализа кривых к

оценкам числовых параметров, показывающим, каким образом развивается заболевание, либо насколько успешно идет лечение.

Отечественной медицинской промышленностью разработаны электронные приборы и системы для проведения электрогастрографии (ЭГГ), в частности исследования моторной функции ЖКТ [2]. Многие системы такого назначения отличаются инвазивностью (т.е. внешним воздействием на организм, вызывающим болезненные ощущения) и высокой стоимостью оборудования, недоступной для многих клиник. Перспективным направлением неинвазивной функциональной диагностики является селективная ЭГГ [3], при которой принципы диагностирования основаны на разделении частот МПВ, генерируемых органами. Сигналы биоэлектрической активности могут быть усилены одновременно по нескольким каналам, отфильтрованы и преобразованы на входе компьютера. Типовое значение доминантной частоты (ДЧ) электрических колебаний, поступающих от желудка, составляет 0,05 Гц для пациентов группы „норма“. При обследовании больных пациентов наблюдаются отклонения от данных стандартных значений.

**Сущность подхода.** Вариант портативной медицинской информационно-измерительной системы (МИИС), использующей принципы селективной ЭГГ, был разработан ранее и описан в работе [3]. В настоящее время разработан модернизированный образец МИИС, в который были внесены существенные усовершенствования, касающиеся как состава аппаратуры, так и программного обеспечения. Внешний вид этого образца приведен на рис. 1. В состав системы входят четырехканальный аналоговый электрогастрограф разработки Института хирургии им. А. В. Вишневского РАМН (Москва) [4], многоканальный низкочастотный аналого-цифровой преобразователь (АЦП) типа Е-270 разработки фирмы L-Card, ноутбук серии Fujitsu Siemens Amilo 1453 с операционной системой Microsoft Windows XP.

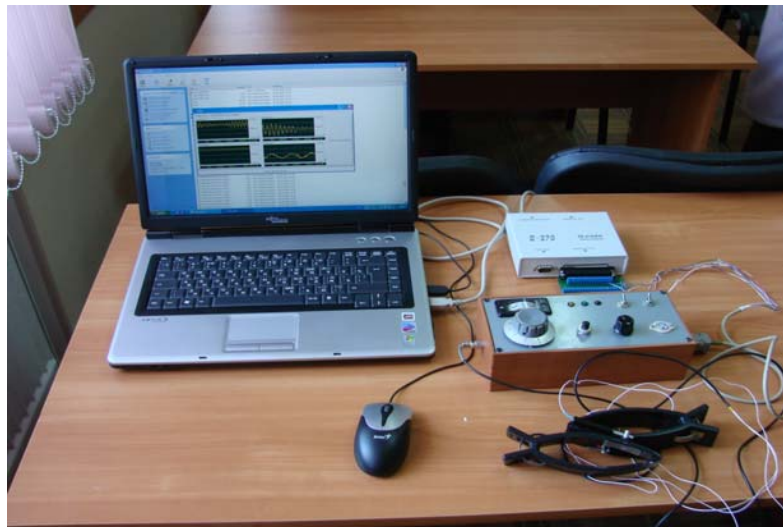


Рис. 1

В предлагаемом образце выносной модуль АЦП Е-270 имеет диапазон входных напряжений  $\pm 10$  В, обладает высокой степенью защиты входных сигналов от импульсных помех, имеет 16 каналов ввода, длина слова в цифровом блоке составляет 15 бит на инфразвуковых частотах. Соединение модуля с компьютером осуществляется через последовательный порт или посредством USB-интерфейса.

**Методы обработки информации.** Основными медицинскими показателями, рассчитываемыми в процессе обработки гастроэнтерограмм, являются значения ДЧ в нескольких каналах, пиковые значения сигналов, а также периоды затухания колебаний на величину 3 дБ. На рис. 2, а, б приведены фрагменты графиков электрогастрограмм соответственно здорового и больного пациентов. На графиках наблюдается значительное различие в диапазонах ампли-

туд (А). Для того чтобы выявить информативные значения пиков колебаний сигналов, необходимо осуществлять записи в течение, по крайней мере, 15—20 мин.

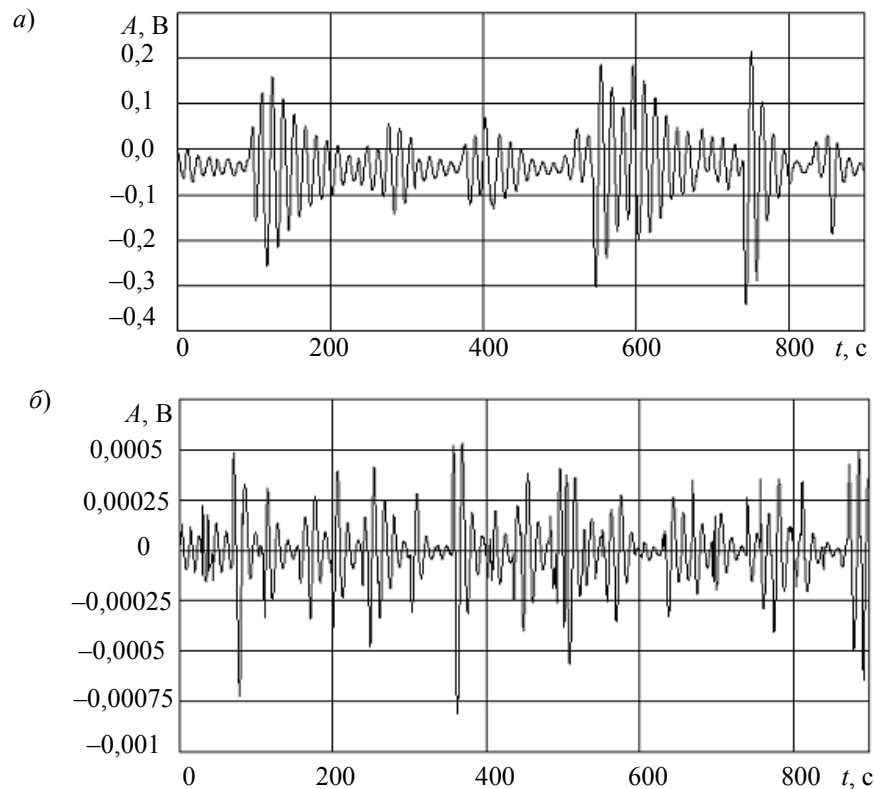


Рис. 2

В ряде записей гастроэнтерограмм проявляются тренды, которые могут быть описаны полиномиальными моделями невысоких порядков и определены методом наименьших квадратов [5], а затем удалены.

Графики спектрограмм строятся с помощью алгоритма быстрого преобразования Фурье (БПФ) и на них отображаются значения ДЧ и боковых составляющих. Для расчета состоятельных оценок спектральной плотности записи сигналов большой длительности делятся на стандартные отрезки, составляющие, как правило, 512 отсчетов, после чего производится усреднение. Сглаживание частотных характеристик гастроэнтерограмм осуществляется на основе спектральных окон Хэннинга [5].

На рис. 3, а, б показаны графики спектральных плотностей (S) электрогастрограмм. В данном примере значения ДЧ (как у здорового, так и у больного пациентов) мало отличаются от стандартных. Это объясняется тем, что источник острого заболевания находится в другом органе ЖКТ, а не в желудке. На спектрограмме больного пациента (см. рис. 3, б) проявляются боковые составляющие. В целом, по наблюдениям за несколькими десятками больных, отклонения значений ДЧ от номинальных могут достигать 30 %.

Современным методом исследования особенностей гастроэнтерограмм как нестационарных сигналов является вейвлет-анализ [6]. Известно, что основными параметрами вейвлет-преобразования являются масштаб (величина, обратная частоте) и сдвиг базисной функции по временной оси. Значение вейвлет-коэффициента  $C_w$  на отрезке сигнала, включающем в себя ограниченное число отсчетов вокруг текущего отсчета  $x_k$ , вычисляется по формуле

$$|C_w(M, s)| = \frac{1}{\sqrt{M}} \left| \sum_{i=k}^{k+s} x_i w_{i-s} \right|,$$

где  $M$  — масштаб вейвлет-преобразования,  $s$  — сдвиг базисной вейвлет-функции по отношению к текущему отсчету,  $w$  — вейвлет-функция,  $k$  — номер отсчета.

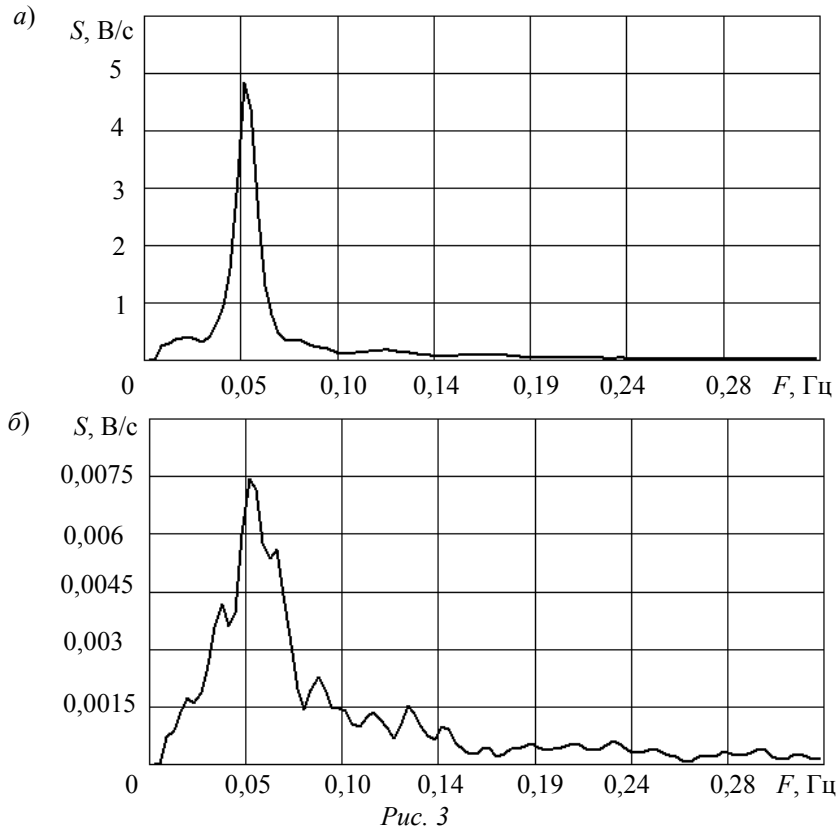


Рис. 3

Вейвлет-преобразование в ходе исследования выполнялось на основе базиса Хаара [6]. На рис. 4 приведены графики зависимостей модулей вейвлет-коэффициентов от масштаба (для здорового (а) и больного (б) пациентов). Графики показывают, что максимумы модулей наблюдаются при  $M \approx 1$ , т.е. при длительностях базисных функций Хаара, соответствующих периодам ДЧ, равным 20 с (частота 0,05 Гц).

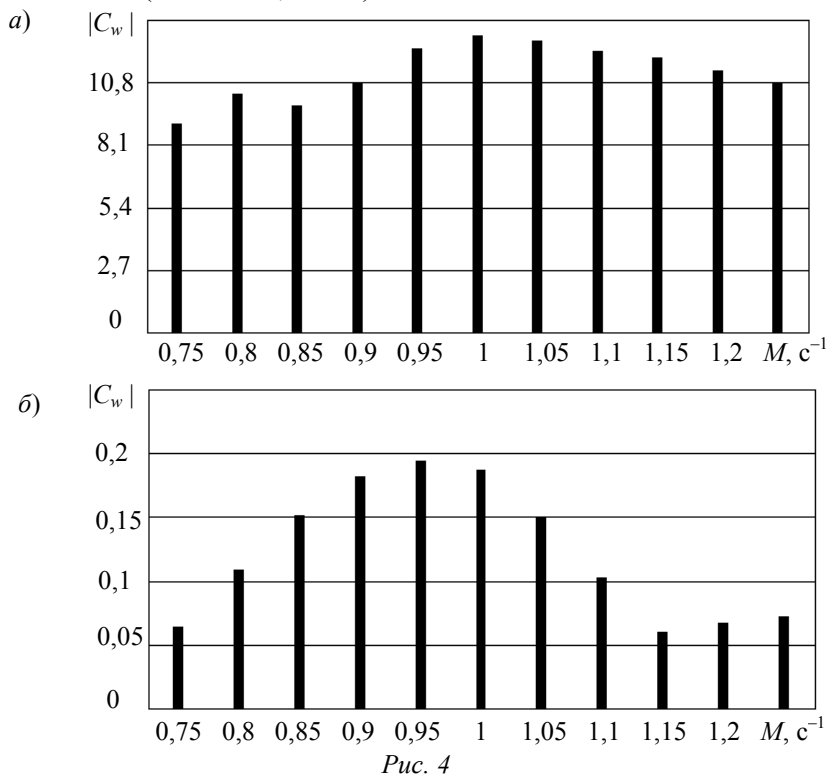


Рис. 4

**Программное обеспечение.** В программном обеспечении (ПО) МИИС можно выделить две части. Первую часть составляет подсистема ввода аналоговых данных, разработанная в среде Visual Studio 2005 на базе MFC (Microsoft Foundation Classes). Ее функцией является организация процессов записи данных гастроэнтерограмм в локальную базу данных. В подсистеме реализована процедура визуализации процессов сбора данных.

Вторая часть ПО представляет собой пакет программ обработки данных, реализованный на основе алгоритмического языка C++ с использованием библиотеки Qt. Такой подход ускоряет обработку и освобождает пользователя (хирурга-гастроэнтеролога) от анализа необязательных данных.

Поясним кратко некоторые особенности функционирования ПО. Вначале выбираются данные конкретного пациента и определяется дата обследования. Таких обследований может быть, по крайней мере, четыре: одно до операции и три после операции в течение 7—10 дней. Программа отображает графики гастроэнтерограмм по четырем каналам. Для врача-хирурга на экран выводится текстовая информация по каждому каналу, отображающая основные параметры состояния пациента (значение пика МПВ, доминантная частота, время затухания волны).

Библиотека Qt обеспечивает эффективное построение графического интерфейса пользователя GUI (Graphic User Interface). Преимущество ее применения заключается в возможности переноса программ из одного компьютера в другой, а также в возможности использования в других операционных системах без модификации кода.

**Заключение.** В рассмотренной системе реализован новый неинвазивный метод функциональной диагностики — селективная электрогастрография. Этот метод позволяет регистрировать и обрабатывать гастроэнтерограммы, проследить явную зависимость между характером сокращений мускулатуры органов ЖКТ и формой регистрируемых биомедицинских сигналов.

Система имеет компактное, портативное исполнение и может быть размещена на передвижном медицинском столике, что способствует проведению полного обследования непосредственно у постели больного.

Применение МИИС в клиниках для обследования и лечения пациентов позволяет технологически максимально упростить и ускорить получение объективных оценок их функционального состояния. Стоимость системы, состоящей из трех блоков (электрогастрографа, АЦП и персонального компьютера), составляет примерно 1200 долл. Имеется возможность исключить из состава оборудования электрогастрограф и перейти от аналоговой фильтрации к цифровой, выполняемой программным путем, что позволит снизить стоимость системы до 800 долл.

Исследования по разработке данной диагностической системы, включая создание программного обеспечения, проводились в рамках регионального проекта № 08-01-98802-р\_север\_а Российского фонда фундаментальных исследований.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильев В. А., Васильева А. В. Электромиография органов желудочно-кишечного тракта и периферическая электрогастрография [Электронный ресурс]: <[www.library.biophis.msu.ru/gettext?Serial=624](http://www.library.biophis.msu.ru/gettext?Serial=624)>.
2. Саблин О. А., Гриневич В. Б., Успенский Ю. П. и др. Функциональная диагностика в гастроэнтерологии. СПб.: Изд-во ВМА, 2002.
3. Свиньин С. Ф., Комякова К. В., Каримов С. Х. и др. Программно-инструментальный комплекс для функциональной диагностики в хирургической гастроэнтерологии // Изв. вузов. Приборостроение. 2006. Т. 49, № 11. С. 71—74.

4. Пат. 2023419 РФ. Селективный электроэнтерогастрограф / В. Н. Яковенко, С. В. Яковенко // Бюлл. Открытия, изобретения. 1994. № 22.
5. Отнес Р., Энксон Л. Прикладной анализ временных рядов. М.: Мир, 1982.
6. Блаттер К. Вейвлет-анализ. Основы теории. М.: Техносфера, 2006.

**Сведения об авторах**

- Сергей Федорович Свиньин** — д-р техн. наук, профессор; Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН, лаборатория автоматизации научных исследований; E-mail: svinyins@mail.ru
- Людмила Эдуардовна Хаймина** — канд. пед. наук, доцент; Поморский государственный университет им. М. В. Ломоносова, кафедра математического анализа, Архангельск; E-mail: jacques@atnet.ru
- Екатерина Александровна Латухина** — аспирант; Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН, лаборатория автоматизации научных исследований; E-mail: lea2003@atnet.ru
- Александр Игоревич Попов** — аспирант; Поморский государственный университет им. М. В. Ломоносова, кафедра прикладной математики, Архангельск; E-mail: aiprv@mail.ru

Рекомендована СПИИРАН

Поступила в редакцию  
28.11.08 г.