

**Shatalova Olga Vladimirovna**

SEI HVT «Kursk state technical university».

E-mail: SFilist@gmail.com.

19, street of Chelyuskintsev, Kursk, 305004, Russia, Phone (4712)587098.

Department of Biomedical Engineering, senior teacher, Cand. Tech. Sci.

УДК 53.088.7, 612.172.4

**Л.Ю. Кривоногов**

### **КОНЦЕПЦИЯ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОЙ ОБРАБОТКИ ЭЛЕКТРОКАРДИОСИГНАЛА**

*В статье обоснована актуальность разработки помехоустойчивых методов и алгоритмов автоматизированного анализа электрокардиосигнала; предложено несколько направлений помехоустойчивой обработки электрокардиосигнала, в совокупности представляющие собой законченную концепцию; разработана и описана концептуальная модель помехоустойчивой обработки электрокардиосигнала.*

*Электрокардиосигнал; помехоустойчивая обработка; автоматический анализ; концептуальная модель.*

**L.Yu. Krivonogov**

### **THE CONCEPT OF NOISE PROOF PROCESSING OF ECG SIGNAL**

*The urgency of working out of noise proof methods and algorithms of the automated analysis ECG signal is proved in article; there are offered some directions of noise proof processing of ECG signal, in aggregate representing the finished concept; the conceptual model of noise proof processing of ECG signal is developed and described.*

*ECG signal; noise proof processing; automated analysis; conceptual model.*

Борьба с помехами при получении и исследовании биомедицинских сигналов является фундаментальной задачей медицинского приборостроения.

Для своевременной профилактики, ранней диагностики, прогнозирования и эффективного лечения заболеваний сердечно-сосудистой системы широко используется автоматизированный анализ электрокардиосигнала (ЭКС). Несмотря на значительные успехи, достигнутые почти за полувековую историю автоматизации электрокардиографических исследований, существуют проблемы нерешенные в полном объеме до сих пор. Одной из таких проблем является повышение помехоустойчивости технических средств при получении и обработке ЭКС.

Биопотенциалы сердца проявляют себя как слабый сигнал в окружении многих других сигналов различного происхождения. Любой другой сигнал, кроме исследуемого ЭКС, является помехой (в англоязычной литературе такой сигнал называют термином artifact – артефакт, от латинского artefactum – искусственно сделанное).

Артефакты могут настолько исказить ЭКС, что он становится непригодным даже для визуальной интерпретации. Существующие алгоритмы автоматического анализа тем более не всегда справляются с зашумленным сигналом, следовательно, без принятия эффективных мер по борьбе с помехами анализ ЭКС теряет всякий смысл. Недоверие части врачей к компьютерным ЭКГ-системам отчасти связано с их низкой помехоустойчивостью, и как следствие, с многочисленными ошибками при выводе диагностических заключений.

Эффективность автоматизированного анализа ЭКС напрямую связана с точностью измерения амплитудных и временных параметров сигнала, с достоверностью обнаружения и распознавания его отдельных элементов и их границ. В свою очередь, основной причиной погрешностей измерений и ошибок обнаружения элементов ЭКС являются помехи, различные по своему происхождению, интенсивности, спектральным и статистическим характеристикам, взаимодействию с полезным сигналом.

Таким образом, эффективное подавление помех при получении и обработке ЭКС ведет к повышению достоверности диагностических заключений и, следовательно, к повышению эффективности диагностики сердечно-сосудистых заболеваний.

Доказательством актуальности совершенствования методов и средств помехоподавления при электрокардиографических исследованиях являются более полусотни публикаций, посвященных этой теме за последние годы в ведущих зарубежных журналах (Measurement Science Review, Physiological Measurement, Bio-Medical Engineering, Neural Computing and Applications, Journal of Medical Engineering & Technology, Medical Engineering & Physics, Medical & Biological Engineering & Computing, Progress in Biomedical Research), десятки сообщений на международных конференциях (Computers in Cardiology, Mediterranean Conference on Medical and Biological Engineering, International Conference on Biomedical Engineering).

В практике исследования ЭКС можно выделить четыре ситуации, отличающиеся различной сложностью сигнально-помеховой обстановки.

1. Кратковременный анализ ЭКС при ограниченной двигательной активности пациента. При этом уровень помех не велик, вид и параметры помех практически не меняются в процессе исследования, амплитудные и временные параметры (АВП) ЭКС также меняются незначительно.
2. Длительный анализ при ограниченной двигательной активности (прикроватный мониторинг в палатах интенсивной терапии). Здесь уровень помех невелик, но их вид и параметры могут значительно изменяться, АВП ЭКС значительно меняются в процессе исследования.
3. Кратковременное исследование при физической нагрузке (стресс-тесты).
4. Длительное исследование при свободной двигательной активности пациента (Холтеровское мониторирование).

В двух последних ситуациях большая изменчивость АВП ЭКС сочетается со значительными помехами, меняющими вид и параметры в процессе исследования. Это наиболее сложные ситуации для автоматизированного анализа ЭКС.

Подавляющее большинство существующих методов и средств обработки ЭКС не предназначены для работы в условиях интенсивных помех (при отношении сигнал/помеха менее 10 дБ) и не решают в полной мере возложенные на них задачи. Чаще всего в условиях интенсивных помех кардиомониторы просто прекращают исследование и информируют пользователя о недопустимом уровне помех.

Имеют место несколько факторов, затрудняющих исследование ЭКС в условиях интенсивных помех (особенно при свободной двигательной активности [1]):

- нестационарность полезного сигнала;
- нестационарность суммарного помехового процесса;
- пересечение спектров полезного сигнала и помех.

Исходя из этого, вряд ли можно предложить какую-либо одну процедуру, которая выполняла бы все функции, связанные с устранением помех. Кроме того, даже набор помехоустойчивых методов не во всех случаях даст положительный результат.

Для решения задачи такого уровня необходим системный подход, связывающий различные меры и методы по борьбе с помехами на всех этапах обработки ЭКС. В рамках системного подхода разработана концепция помехоустойчивой обработки ЭКС в режиме свободной двигательной активности, определяющая стратегию разработки взаимосвязанных помехоустойчивых методов и алгоритмов.

Предложенная концепция помехоустойчивой обработки состоит из нескольких положений – направлений помехоустойчивой обработки ЭКС.

1. Борьба с помехами должна осуществляться на всех этапах получения и обработки ЭКС (включая организационные и технические меры защиты от помех в процессе регистрации ЭКС; структурные и алгоритмические методы на этапе предобработки; методы вторичной обработки – обнаружение границ, информативных участков, распознавание элементов и т.д.) [2].

2. Качественный анализ ЭКС может быть проведен и при достаточно высоком уровне помех, необходимо только от них эффективно избавиться (максимально подавить помехи при минимальном искажении полезного сигнала). При высоком уровне помех анализ ЭКС нужно не прекращать, как это часто делают, а ограничивать его объем (т.е. выполнять только те операции, которые можно выполнить с заданной достоверностью).

3. Нестационарность ЭКС и помех требует применения адаптивных процедур на различных этапах обработки (адаптивный базис, адаптивный выбор отведения, адаптивные фильтры подавления помех, адаптивные алгоритмы обнаружения и распознавания элементов, адаптивные алгоритмы синдромальной интерпретации). Для реализации адаптивного управления целесообразно применить нечеткую логику (fuzzy control) [3].

4. Для подавления помех, обнаружения QRS комплексов и других элементов ЭКС необходимо применять нелинейные процедуры. Такие нелинейные фильтры устраняют ограничения, присущие методам линейной фильтрации (уменьшают искажение полезного сигнала) и расширяют возможности цифровой обработки сигналов (повышают эффективность обнаружения событий).

5. Двухэтапное обнаружение QRS комплексов. На первом этапе (предварительное обнаружение) обнаруживается временной интервал, на котором существует QRS комплекс. После этого можно выделить участки изолинии, на которых заведомо нет кардиоимпульсов (участки, на которых присутствует только помеха). После определения типа и уровня помех на выделенном участке изолинии реализуется второй этап обнаружения (окончательное обнаружение QRS комплекса).

6. Во время исследования ЭКС необходимо периодически (в идеале на каждом цикле) оценивать эффективность помехоподавления и обнаружения QRS комплексов. При недостаточной эффективности помехоподавления и обнаружения – ограничение объема анализа.

7. Для повышения помехоустойчивости при обработке ЭКС целесообразна многоканальная обработка информации, заключающаяся, с одной стороны, в разделении потоков информации, а с другой стороны – в совместной обработке информации нескольких каналов (отведений).

8. В связи с тем, что полезная информация в ЭКС сосредоточена в циклически повторяющихся коротких всплесках сложной формы, то перспективен переход от амплитудно-временной и частотной к частотно-временной обработке ЭКС (и соответственно представление ЭКС в базисе, обладающем хорошим разрешением как по времени, так и по частоте).

9. Применение специальных методов и технических средств для подавления артефактов движения (акселерометры, гироскопы и другие датчики положения,

вибрации, перемещения, установленные как на тело пациента, так и интегрированные в ЭКГ-электроды).

10. Применение инвариантных (нечувствительных) процедур. Такие алгоритмы могут быть инвариантны к виду и уровню помех, к полярности и форме QRS комплексов, к индивидуальным особенностям ЭКС и т.д.

На рис. 1 представлена разработанная концептуальная модель помехоустойчивой обработки ЭКС.

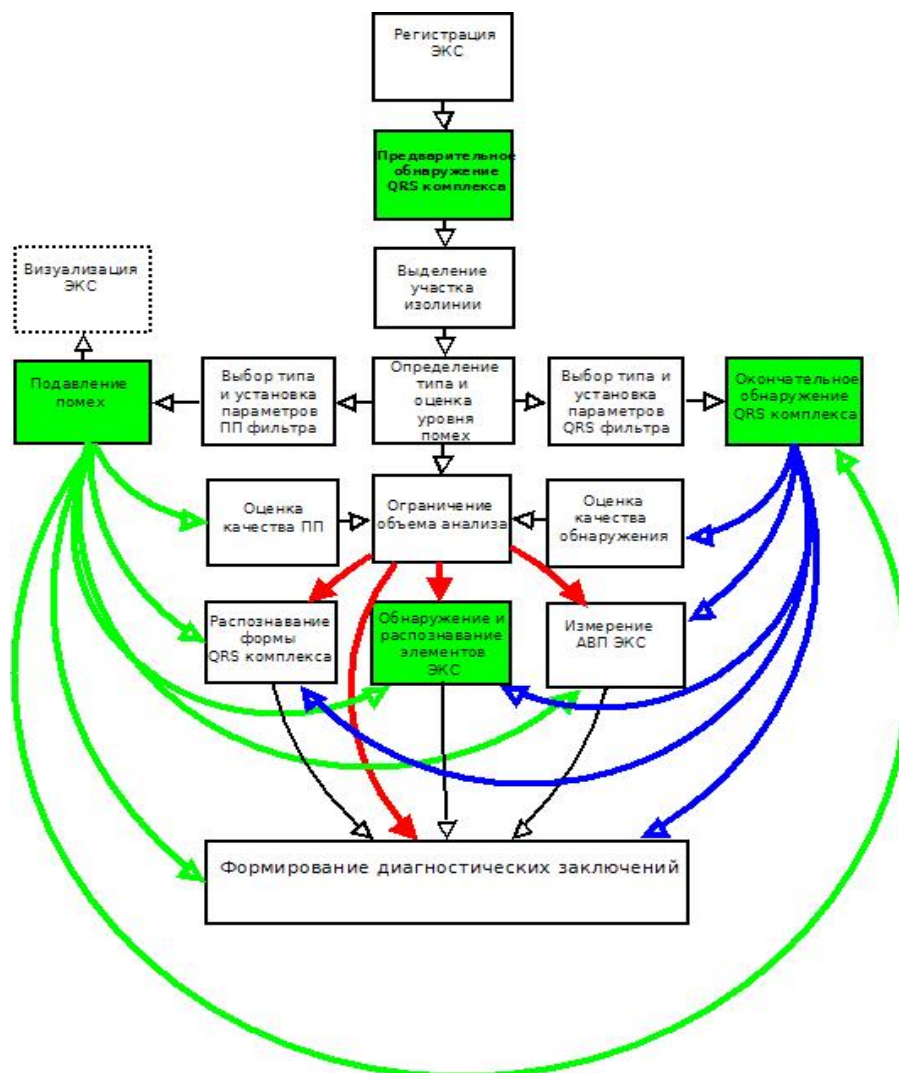


Рис. 1. Концептуальная модель помехоустойчивой обработки ЭКС

После регистрации ЭКС (с применением организационных и технических мер защиты от помех) проводится предварительное обнаружение QRS – комплексов, выделение участков изолинии для определения типа и уровня помех. Эта информация используется для выбора фильтров и настройки их параметров.

Далее анализ ЭКС идет по двум направлениям:

- подавление помех с помощью ПП фильтра для визуализации ЭКС и дальнейшей обработки;
- точное обнаружение QRS комплексов с применением QRS фильтра – основа дальнейшего анализа.

Информация с ПП и QRS фильтров используется для классификации (распознавания формы) QRS комплексов, обнаружения и распознавания других элементов ЭКС, измерения амплитудно-временных параметров (АВП) ЭКС, формирования диагностических заключений.

При недостаточной эффективности помехоподавления (ПП) и обнаружения объем анализа ЭКС ограничивается.

Блоки (процедуры), выделенные на рисунке цветом – с использованием нелинейных преобразований; блок, ограниченный пунктиром – необязательный.

Реализация разработанной концепции помехоустойчивой обработки ЭКС при свободной двигательной активности позволит создать несколько взаимосвязанных помехоустойчивых методов и, таким образом, повысить эффективность диагностики сердечно-сосудистых заболеваний.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Кривоногов Л.Ю.* Борьба с помехами при получении и обработке электрокардосигнала. // Методы, средства и технологии получения и обработки измерительной информации: труды Международной НТК. – Пенза: ИИЦ ПГУ, 2008. – С. 80-84.
2. *Кривоногов Л.Ю.* Методы и алгоритмы помехоустойчивой обработки электрокардиографической информации. Дис. ... канд. техн. наук. – Пенза, 2003.
3. *Кривоногов Л.Ю.* Перспективы применения нечеткой математики для анализа электрокардосигнала // Информационно-измерительная техника: Межвуз. сб. науч. тр. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2006. – Вып. 31. – С. 145-149.

#### **Кривоногов Леонид Юрьевич**

Пензенский государственный университет.

E-mail: leonidkrivonogov@yandex.ru.

440605, г. Пенза, ул. Клары Цеткин, 39-53, тел.: (906)3960585.

Доцент, к.т.н.

#### **Krivonogov Leonid Yurievich**

Penza State University.

E-mail: leonidkrivonogov@yandex.ru.

39-53, st. K. Tzetkin, Penza, 440605, Russia, Phone: (906)3960585.

Lecturer, Cand. Tech. Sci.

УДК 612.76 (075)

**Е.А. Лебедева, С.М. Лазарев, А.Н. Андриевский**

### **БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ АОРТЫ В НОРМЕ И ПРИ КОАРКТАЦИИ У ДЕТЕЙ ПЕРВЫХ МЕСЯЦЕВ ЖИЗНИ**

*Известно два способа коррекции коарктации аорты: хирургический и эндоваскулярный. Серьезной проблемой эндоваскулярного метода является рекоарктация аорты, частота которой достигает 40-70 %, причем у детей младшего возраста наблюдается чаще, а также возможные другие серьезные осложнения вплоть до летальных. Поэтому для решения данной проблемы был разработан алгоритм расчёта обоснованного давления в баллоне для детей первых лет жизни. Внедрение этого метода позволяет учесть индивиду-*