



Қазақстан Республикасы
Ұлттық инженерлік академиясының
ХАБАРШЫСЫ

ВЕСТНИК
Национальной инженерной академии
Республики Казахстан

№ 2 (48)

Алматы
2013

ФИЗИКА

<i>Риттер Д. В., Шекижанов А. Н.</i> Исследование способов возбуждения поверхностных волн	89
---	----

<i>Савостин А. А.</i> Автоматизированная идентификация электрокардио-сигналов компенсационными методами.....	94
--	----

ГОРНОЕ ДЕЛО И МЕТАЛЛУРГИЯ

<i>Демин В. Ф., Маусымбаева А. Д., Демина Т. В., Турсунбаева А. К.</i> Проявления горного давления при анкерном креплении выработок на шахтах Карагандинского угольного бассейна.....	99
---	----

<i>Чепуштанова Т. А.</i> Изучение флотационного разделения продуктов обжига пиритсодержащих материалов.....	107
---	-----

ЗНАЕТЕ ЛИ ВЫ	112
---------------------------	-----

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

<i>Логанина В. И., Макарова Л. В., Тарасов Р. В., Сергеева К. А.</i> Повышение качества известковых отделочных составов.....	116
--	-----

<i>Монтаев С. А., Адилова Н. Б., Монтаева А. С.</i> Технология производства лицевого стеновой керамики на основе двухкомпонентного сырьевого состава.....	122
---	-----

ПРИЩЕВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

<i>Ковальчук И. Ю., Успанова Г. К., Чуканова Н. И., Турдиев Т. Т., Фролов С. Н.</i> Оптимизация клонального микроразмножения некоторых сортов винограда.....	126
--	-----

ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ

<i>Исмаилов С. Б.</i> Государственная экономическая политика по стимулированию банковского кредитования обрабатывающих отраслей промышленности.....	132
---	-----

<i>Лухманова Г. К.</i> Влияние интеграции на структуру внешней торговли Республики Казахстан.....	139
---	-----

ЮБИЛЕЙНЫЕ ДАТЫ

<i>Жумагулов Бакытжан Турсынович</i> (К 60-летию со дня рождения)	144
---	-----

<i>Кажыбаев Амангельды Кажыбаевич</i> (К 70-летию со дня рождения)	148
--	-----

<i>Абилов Жарылкасын</i> (К 65-летию со дня рождения)	149
---	-----

<i>Данаев Наргозы Турсынбаевич</i> (К 65-летию со дня рождения)	150
---	-----

<i>Измухамбетов Бактыкожа Салахатдинович</i> (К 65-летию со дня рождения)	151
---	-----

<i>Токтаров Нурлан Зейнелевич</i> (К 65-летию со дня рождения)	152
--	-----

<i>Бектемесов Мактагали Абдимажитович</i> (К 50-летию со дня рождения) ..	153
---	-----

<i>Жунусов Талгат Турлыбекович</i> (К 50-летию со дня рождения)	154
---	-----

ХРОНИКА, СОБЫТИЯ, ФАКТЫ	155
--------------------------------------	-----

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	160
----------------------------------	-----

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРОКАРДИОСИГНАЛОВ КОМПЕНСАЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ

А. А. САВОСТИН

Северо-Казахстанский государственный университет им. М. Козыбаева

Исследован процесс автоматизации электрокардиологических измерений. Предложен подход к электрокардиологическим исследованиям с позиции теории сигналов и систем и сформулирована техническая сторона прямой и обратной задач электрокардиографии. Введено понятие электрокардиографической идентификации и предложен общий алгоритм ее осуществления. Рассмотрен механизм создания параметрических моделей исследуемого сигнала. Применение описанных методов позволит повысить качество автоматизированного анализа электрокардосигналов.

Ключевые слова: автоматизация, анализ, электрокардиограмма, идентификация, электрокардосигнал, моделирование, биообъект.

Мақала электрокардиологиялық өлшеудің автоматты үрдісін зертеуге арналған. Электрокардиологиялық зертеуге жүйе және сигнал теориялық ұстаным жағынан әдістеме ұсынылды, электрокардиографияның кері және тура есептерінiң техникалық жағы қалыптасты. электрокардиографиялық сәйкестілік түсінігі енгізілді және оны іске асырудың жалпы алгоритмді ұсынылды. Зерттеліп отырған сигналдың параметрлік үлгісін құру механизмі қарастырылды. Сипатталған әдістерді қолдану электросигналдардың автоматтандырылған талдау үдерісінің сапасын арттырады.

Түйін сөздер: автоматтандыру, талдау, электрокардиограмма, сәйкестілік, электрокардосигнал, үлгілеу, био нысана.

The paper is devoted to studying of process of electrical cardiological measurements automation. The approach was offered to electrical cardiological researches from perspectives of theory of signals and systems; technical aspect was formulated of direct and inverse problems of electrocardiography. Concept was introduced of electrocardiographic identification and general algorithm was given for its realization. Mechanism was considered for creation of parametric models of the studied signal. These methods using will allow increasing quality of the automated analysis of electrocardiosignals.

Keywords: automation, analysis, electrocardiogram, identification, electrocardiosignal, modeling, biological object.

Электрокардиология принадлежит к области науки, где пересекаются интересы ученых различных специальностей, использующих разную терминологию при изложении научных результатов, а также различные методики анализа. К ним относятся электрофизиологи, медики, физики, математики, инженеры по электронике и схемотехнике. Задача последних заключается в разработке современных диагностических комплексов, позволяющих предоставлять наиболее полную информацию о состоянии пациента и своевременно реагировать на ее изменение. С этой точки зрения к электрокардиологическим исследованиям целесообразно подходить с позиции теории сигналов и систем. Тогда под электрокардосигналом (ЭКС) следует понимать разность потенциалов, изменяющуюся во времени в соответствии с колебаниями величины и направления электрического поля, возникающего между различными точками на поверхности тела при возбуждении и реполяризации сердца. Такая разность потенциалов, вызванная биоэлектрической активностью сердечной мышцы, регистрируется при помощи поверхностных электродов на электрокардиограмме (ЭКГ). Та-

ким образом, ЭКГ является электрическим проявлением сократительной активности сердца в виде внесердечной графической записи ЭКС. В связи с этим совокупность инструментальных методов исследования изменяющихся во времени ЭКС называют электрокардиографией.

Технические аспекты компьютеризированных медико-биологических исследований – это, прежде всего, измерительная аппаратура и программное обеспечение, методология проведения измерений и автоматизированный анализ результатов. Поэтому с позиции теории сигналов и систем предлагается следующая постановка прямой и обратной задачи электрокардиографии [1, 2]. Прямая задача заключается в регистрации ЭКС, их распознавании, классификации и выработке медицинского заключения рекомендательного характера, а обратная – в создании математической имитационной модели ЭКС, которая рассматривается как суммарная равнодействующая электрической активности (трансмембранных потенциалов) отдельных клеток миокарда либо как совокупность морфологических признаков ЭКГ с известными параметрами [3].

Можно утверждать, что решение обратной задачи электрокардиографии в рамках теории сигналов и систем будет способствовать созданию эффективных методик анализа ЭКС, позволяющих автоматизировать исследования в области кардиологии, повысить качество и точность диагностики, расширить функциональные возможности кардиологического оборудования. В частности, наличие адекватной модели ЭКС даст возможность адаптировать к электрокардиологическим исследованиям аппарат теории идентификации сигналов и систем.

Следуя данным путем, введем понятие электрокардиографической идентификации. В рамках подхода к электрокардиологическим исследованиям с позиции теории сигналов и систем под электрокардиографической идентификацией будем понимать имитацию структуры ЭКГ на основе идентификации отдельных морфологических элементов. Рассмотрим основные аспекты электрокардиологической идентификации подробнее.

Электрофизиологические процессы, протекающие в сердечной мышце и регистрируемые в форме ЭКГ, могут быть аналитически описаны некоторым оператором $H_0(\mathbf{a}, x, u, t)$, где $\mathbf{a} = (a_1, \dots, a_p, \dots, a_n)^T$ – вектор параметров морфологических элементов ЭКГ или сигнала в целом; a_i – i -параметр; x – импульсный сигнал, соответствующий периодичности возбуждения синусного узла миокарда; u – внешнее возмущение в виде артефактов, возникающих при регистрации ЭКС; t – время [4].

Идентификация структуры ЭКГ – это задача моделирования оператора H_0 : если имеется некоторый объект (рис. 1), описываемый оператором $H_0(\mathbf{a}, x, u, t)$ и принадлежащий некоторому классу операторов Ψ_{H_0} , то необходимо выбрать некоторый оператор $\hat{H}_0(\mathbf{a}, x, u, t)$ из множества операторов $\Psi_{\hat{H}_0}$, который будет достаточно близким к оператору $H_0(\mathbf{a}, x, u, t)$, т.е. будет описывать процессы на выходе объекта с требуемой точностью при входном сигнале x .

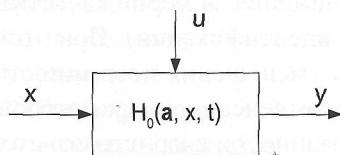


Рис. 1. Биообъект как объект идентификации

Таким образом, задача идентификации ЭКГ сводится к задаче аппроксимации неизвестного оператора $H_0 \in \Psi_{H_0}$ оператором $\hat{H}_0 \in \Psi_{\hat{H}_0}$. Оператор $\hat{H}_0$ называется оценкой оператора H_0 и является решением задачи электрокардиографической идентификации. При условии стационарности объекта и определении класса операторов Ψ_{H_0} задача электрокардиографической идентификации упрощается и сводится к идентификации параметров $\mathbf{a}$ – характеристик компонентов ЭКГ, т.е. будет иметь место параметрическая идентификация.

В общем случае оценки, удовлетворяющие необходимым требованиям, ищутся обычно на основе специально подобранных функционалов $J(\hat{\mathbf{a}})$. На практике преимущественно используют функционал в виде среднего квадрата отклонения

$$J = \overline{\varepsilon^2}, \quad (1)$$

где ε – разность между выходным сигналом объекта (ЭКС) и моделью (оценкой) выходного сигнала.

Все методы идентификации по принципам технической реализации можно разделить на две большие группы: аналитические и компенсационные.

Аналитические методы сводятся к решению соответствующих дифференциальных уравнений. Недостатком этих методов является то, что для их реализации необходимо математическое описание входных и выходных сигналов. Нестационарность параметров объекта и наличие помех (что имеет место при электрокардиографической идентификации) существенно сказываются на точности вычислений.

При компенсационных методах применяют модели объекта, соединенные с ним определенным образом. На практике обычно используют схемы компенсационных систем идентификации с параллельной моделью, как представлено на рис. 2.

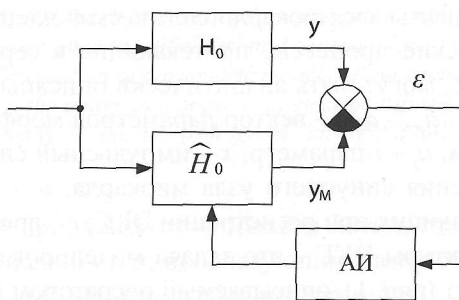


Рис. 2. Схема компенсации с параллельной моделью

Компенсационные методы относятся к замкнутым методам, так как идентификация происходит на основе слежения за мерой качества J (на рис. 2 за этот процесс отвечает блок АИ – алгоритм идентификации). При этом, применительно к идентификации ЭКГ, можно ожидать уменьшения погрешности, связанной с нестационарностью ЭКС. Быстродействие компенсационных методов зависит в основном от типа выбранного алгоритма оптимизации J и скорости его сходимости [5].

Таким образом, принцип электрокардиографической идентификации заключается в представлении процессов, протекающих в миокарде, при помощи явной мате-

матической модели. В этом случае исследуются параметры модели с целью их последующего использования в анализе сигналов, распознавании образов и в процессе принятия решений. Параметры модели приобретают связь с физиологическими или патологическими аспектами сердечно-сосудистой системы (ССС).

Подход, основанный на параметрическом моделировании, позволяет получить компактное и эффективное представление исследуемых сигналов. Несмотря на то, что упор делается на моделирование, окончательной целью методов является анализ исследуемых сигналов.

Методы моделирования сигнала ЭКС для реализации алгоритмов электрокардиологической идентификации в рамках теории сигналов и систем можно представить в виде структуры (рис. 3).

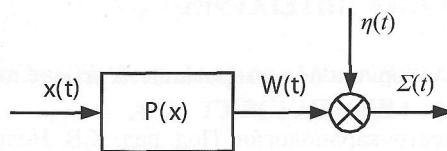


Рис. 3. Структурная схема формирования ЭКГ

Входной сигнал $x(t)$ содержит информацию о частоте сердечных сокращений, т.е. периодичности возбуждения синусного узла миокарда. Процесс возбуждения описывается нелинейным и нестационарным оператором P . Выходной сигнал $W(t)$ представляет собой нормальную ЭКГ, зарегистрированную на поверхности тела человека при помощи электродов и отображаемую на дисплее или ЭКГ-ленте.

Патологические изменения в ССС, т.е. отклонения ЭКГ от нормы, можно интерпретировать как некоторую аддитивную составляющую $\eta(t)$, складывающуюся с полезным сигналом $W(t)$. Таким образом, сигнал $\Sigma(t) = W(t) + \eta(t)$ является результирующим ЭКС. В общем случае сигналы $\Sigma(t)$, $W(t)$ и $\eta(t)$ на схеме рис. 3 представляют собой независимые случайные функции времени: $W(t) = m_w + W_0(t)$, $\eta(t) = m_\eta + \eta_0(t)$, $\Sigma(t) = m_\Sigma + \Sigma_0(t)$, где m — математическое ожидание, а $W_0(t)$, $\eta_0(t)$ и $\Sigma_0(t)$ — центрированные случайные процессы.

Величина m_w является нормальной ЭКГ, т.е. математическим ожиданием для ЭКГ пациентов, без патологических изменений в ССС. Дисперсию D_w процесса $W_0(t)$ можно рассматривать как возможные отклонения отдельных реализаций ЭКГ [6]. Соответственно m_η является математическим ожиданием изменений в ЭКГ при возникновении патологий, а D_η — математическое ожидание разброса этих отклонений.

Таким образом, при создании адекватной модели, имитирующей биоэлектрическую активность сердца (ЭКС), необходимо обеспечить возможность синтеза ЭКС в соответствии со следующим условием:

$$\Sigma(t) = (m_w + m_\eta) + (W_0(t) + \eta_0(t)). \quad (2)$$

С учетом многообразия и изменчивости морфологического состава ЭКС в пределах нормы и при патологиях [7] нельзя ожидать, что математическая модель имитации биоэлектрической активности сердца в соответствии с формулой (2) может исполь-

зоваться как универсальное средство для идентификации всех элементов сигнала, т.е. всего комплекса диагностических признаков. Можно утверждать, что для идентификации отдельного морфологического элемента ЭКС или решения отдельно взятой исследовательской задачи потребуется специфическая автоматизированная система, использующая подстраиваемую модель соответствующего компонента (или группы компонентов) сигнала [8].

В заключение отметим, что изложенный подход к автоматизированному анализу ЭКС, основанный на принципах идентификации сигналов и систем, может быть использован при проектировании и построении систем контроля и автоматизированного анализа электрокардиографической информации для повышения качества их диагностических и функциональных характеристик.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Биотехнические системы: Теория и проектирование: Учебное пособие / Под ред. В. М. Ахутина. – Л.: ЛГУ, 1981. – 220 с.
- 2 Теоретические основы электрокардиологии/ Под. ред. К.В. Нельсона, Д.В. Гезеловица: Пер. с англ. – М.: Медицина, 1973. – 470 с.
- 3 Ивель В. П., Мутанов Г. М. Автоматизированные системы измерения и анализа электрокардиологических сигналов – Алматы: НИЦ «Гылым», 2002. – 241 с.
- 4 Растринин Л.А., Маджаров Н.Е. Введение в идентификацию объектов управления. – М.: Энергия, 1977. – 216 с.
- 5 Ивель В.П., Герасимова Ю.В. Анализ и идентификация низкочастотных объектов и систем. – Петропавловск: СКГУ им. М. Козыбаева, 2007. – 215 с.
- 6 Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. – М.: Высшая школа, 2000. – 463 с.
- 7 Мурашко В.В., Струтынский А.В. Электрокардиография: Учебное пособие. 5-е издание. – М.: МЕДпресс-информ, 2001. – 312 с.
- 8 Савостин А.А., Савостина Г.В. Компенсационная система идентификации компонентов электрокардосигнала // Материалы межд. научно-практ. конф. «Актуальные проблемы физики небесных тел и плазменного состояния вещества: Эксперимент и математическое моделирование». – Петропавловск, 2011. – С. 287 – 290.