

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ СЕРДЦА С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФА НА НАНОСЕНСОРАХ

Григорьев М.Г.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Томск, Россия (634050, Томск, пр. Ленина, 30), e-mail: Mishatpu@mail.ru

**Прецизионные методы и приборы для диагностики сердечно – сосудистых заболеваний являются одними из основных направлений развития современной техники в области медицинского приборостроения. Однако на данном этапе развития не существует мало габаритных аппаратов, позволяющих проводить диагностику сердечной мышцы с прецизионной точностью и без внутреннего вмешательства в организм. В данном исследовании представлены проблемы связанные с сердечно – сосудистыми заболеваниями (ССЗ) и проведен анализ различных организаций занимающихся вопросом разработки эффективных средств для диагностики ССЗ. Рассмотрена двухкомпонентная модель Фитц – Хью – Нагумо и алгоритм визуализации состояния сердца. Показано направление работы по проектированию и созданию аппаратно - программного комплекса основанного на кардиографической информации с электрокардиографа на наносенсорах. Представлены полученные результаты.**

Ключевые слова: электрокардиограф, электрокардиография, биопотенциал, медицинские приборы, сердечнососудистая система, трансмембранный потенциал.

## COMPUTER SIMULATION OF CARDIAC ELECTRICAL ACTIVITY USING AN ELECTROCARDIOGRAPH ON NANOSENSORS

Grigoriev M.G.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia (634050, Tomsk, Lenin Avenue,30), e-mail: Mishatpu@mail.ru

**Precision methods and devices for diagnostics of cardiovascular diseases are one of the main directions for development of modern technology in the field of medical instrument engineering. However, there are no small devices that allow for the diagnostics of cardiac muscle with precision accuracy and without operative intervention at this stage. This study presents the problems associated with cardiovascular diseases (CVD) and the analysis of various organizations engaged in development of efficient means for CVD diagnostics. Two-component FitzHugh - Nagumo model and heart condition imaging algorithm are considered. Aspects of work aimed at designing and developing of the hardware and software complex based on the information obtained with the help of an electrocardiograph on nanosensors. The obtained results are presented.**

Keywords: electrocardiograph, electrocardiography, biopotential, medical devices, cardiovascular system, transmembrane potential.

По данным всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) от болезней сердца и сосудов каждый год в мире погибают более 17 миллионов человек. Более того, согласно прогнозу ВОЗ к 2030 году умрет ещё около 23,6 миллионов человек. В России, в 2008 году от сердечно–сосудистых заболеваний (ССЗ) погибли 1 млн. 232 тыс. 182 человека (рисунок 1)[1, 2].

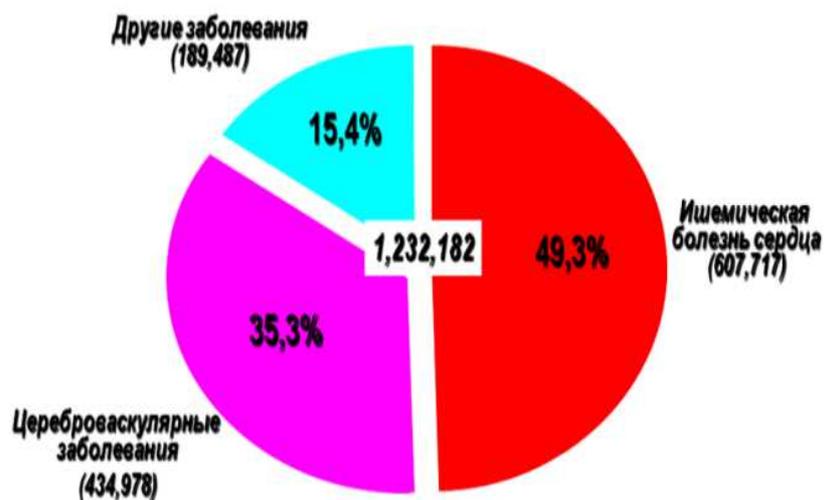


Рис 1. Отчет ВОЗ по ССЗ за 2008 г.

Основным наиболее распространенным в медицинских учреждениях различного уровня является электрокардиографический (ЭКГ) метод исследования состояния сердечно-сосудистой системы человека. ЭКГ метод является методом функциональной диагностики с количественной оценкой результатов исследования. Впервые кардиографические исследования были проведены в конце 19-го века шотландским ученым Александром Мьюхэдом [5].

### **Анализ предприятий**

Тело представляет собой объемный проводник. Активная работа сердца приводит к генерации электромагнитного поля, которое может быть измерено на поверхности тела. Это поле в ходе возбуждения сердца постоянно меняется и характеристики этого поля в каждый момент времени зависят от того, в каком направлении движется по сердцу волна возбуждения. Изучение этого поля позволяет судить о последовательности возбуждения предсердий и желудочков.

Решением данной проблемы занимается множество предприятий, но особого успеха добились лишь единицы.

Проведенный анализ показал, что в настоящее время отсутствуют аппаратно-программные комплексы (АПК) для массового применения (в отделениях функциональной диагностики и кардиологии, в стационарах, в поликлиниках и медико-санитарных частях, в машинах скорой помощи, а также в частной медицинской практике, в домашних условиях, в постоянно носимых аппаратах) с целью неинвазивного углубленного исследования сердца путем регистрации низкоамплитудных потенциалов сердца с поверхности тела человека без процедуры осреднения кардиоциклов и фильтрации. Подобные аппараты представлены в таблице 1.

Таблица 1

Название фирмы	Кол-во отведений	Уровень сигнала, мкВ	Частотный диапазон, Гц	Цена, тыс. руб
Геолинк-Электроникс (Россия)	3	6	0.03 – 10.0	270
Rozinn (США)	3	8	0.05 – 70	385
OXFORD (Англия)	3	5	0.05 – 100	400
ФГБОУ ВПО НИ ТПУ (Россия)	3 – 12	0,3	0 – 10000	<50
Davis Medical Electronics Inc. (США)	3 – 12	2	0.05 – 60	227
HELLIGE (США)	3 – 12	5	0.05 – 100	417
CardioMem CM 3000 (Германия)	3	8	0.03 – 70	160
Scan Tech Medical, LLC (США)	3	6	0.05 – 100	163

Как видно из таблицы, рыночная стоимость кардиографов известных компаний непомерно велика по сравнению с предложенным нами продуктом. Это связано с тем, что в устройстве используются разработанные нами наносенсоры, позволяющие без использования фильтров и осреднения получать сигналы нановольтового уровня.

#### **Электрическая активность сердца**

Актуальным для совершенствования диагностики сердечно-сосудистых заболеваний, в том числе и для ранней диагностики сердца взрослых, детей, младенцев и плода, является разработка нового поколения наносенсоров и компьютеризированной ЭКГ - аппаратуры высокого разрешения для применения в поликлиниках и в домашних условиях.

Для решения данной задачи необходимо исследование численной модели распространения возбуждения в сердечной мышце.

Возбуждение распространяется по сердечной ткани с определенной скоростью, различной для разных отделов сердца (рисунок 2).

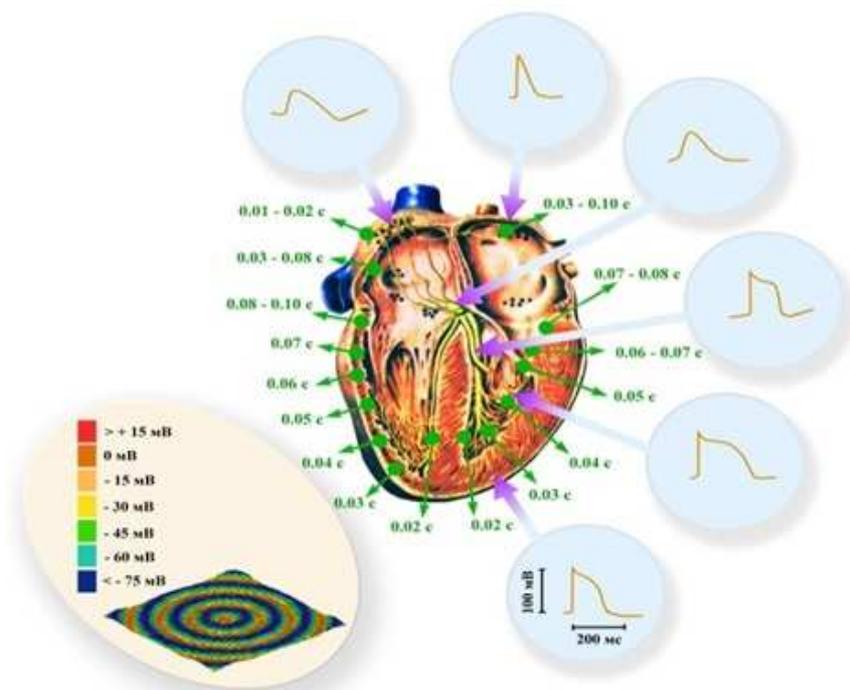


Рис. 2. Схема пространственно-временной организации нормальной работы сердца человека

Зеленые надписи и стрелки указывают время прихода волны возбуждения в данную область сердца. Голубые врезки показывают форму профиля бегущей волны (т.н. «потенциала действия») в разных областях сердца, обусловленную различием свойств элементвозбудимой среды, которую формируют ткани сердца. Бежевая врезка — нормальное распространение бегущей волны возбуждения из пейсмейкерной зоны в центре (синусового узла) в сторону краев (по рабочему миокарду) в простейшей имитационной математической модели [3].

В результате формируется пространственно временная организация возбуждения сердца, обеспечивающая его функционирование. При моделировании процесса распространения возбуждения необходимо учитывать все особенности организации возбуждения в сердце.

### Математическая симуляция

Для моделирования распространения возбуждения предложена одна из простейших моделей возбудимых сред [4], двухкомпонентная модель Алиева-Панфилова. Модель реализована в виде уравнений типа «реакция – диффузия».

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -ku \cdot (u - a) \cdot (u - 1) - uv + \Delta u ,$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = - \left( \varepsilon_0 + \frac{\mu_1 v}{u + \mu_2} \right) \cdot (v + ku \cdot (u - a - 1)),$$

где  $u(x, y, t)$  - безразмерная функция, соответствующая трансмембранному потенциалу, и  $v(x, y, t)$  - безразмерная функция, соответствующая медленному мембранному току восстановления. При этом связи между клетками сердечной мышцы описываются диффузионными членами уравнений, а динамика отдельной клетки – реакционными нелинейными членами уравнений. Проведя ряд экспериментов, были определены параметры модели, при которых система лучше всего соответствует свойствам сердечной мышцы:  $k = 8.0$ ,  $\varepsilon_0 = 0.01$ ,  $\mu_1 = 0.2$ ,  $\mu_2 = 0.3$ ,  $a = 0.15$ .

### Аппаратно – программный комплекс

Для реализации моделирования процесса распространения возбуждения в сердце, в рамках концепции оценки состояния сердечно-сосудистой системы (ССС), на базе лаборатории № 63 института неразрушающего контроля предполагается разработка аппаратно – программного комплекса. Алгоритм работы АПК представлен на рисунке 3.

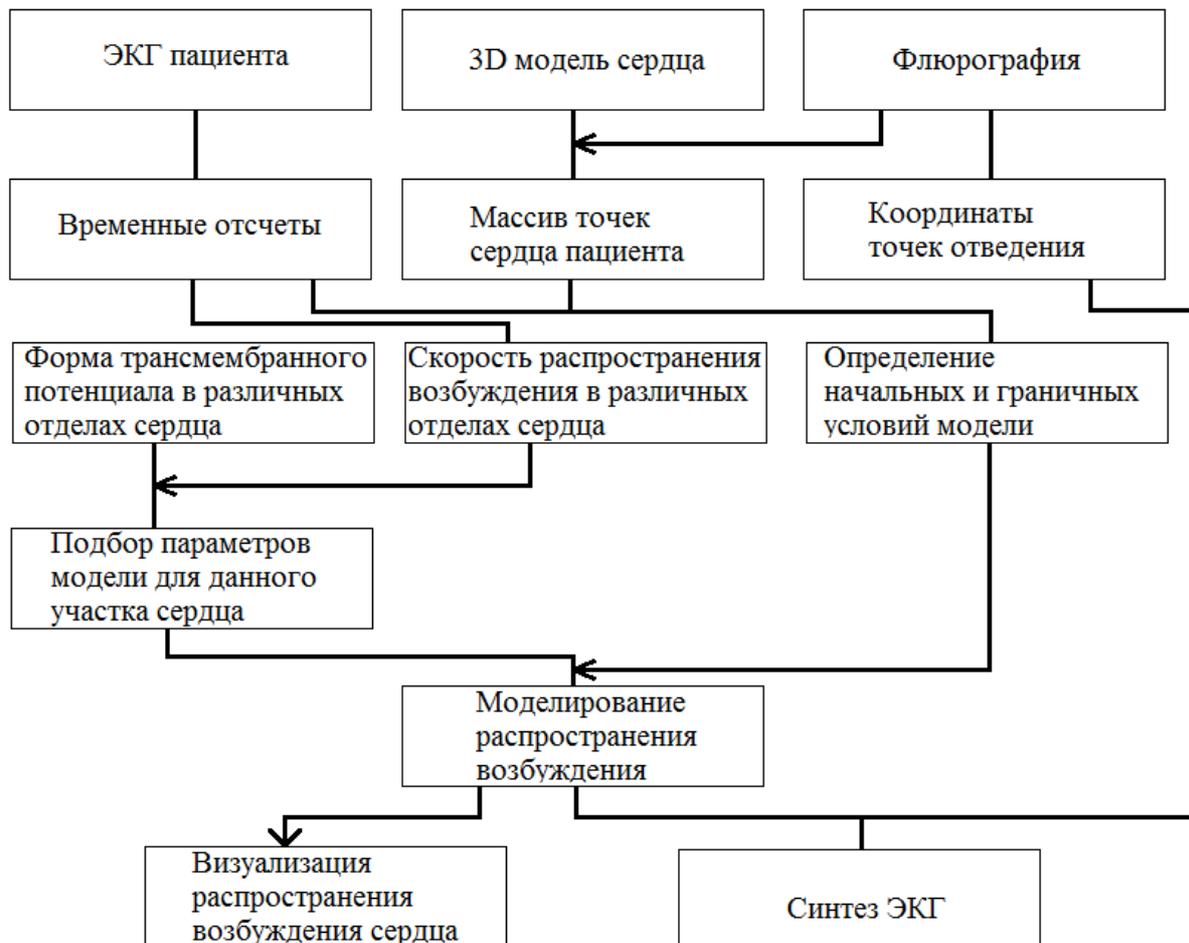


Рис. 3. Алгоритм моделирования процесса распространения возбуждения в сердце

Как видно из схемы, в первую очередь, задаются начальные и граничные условия модели на основе кардиографической, затем подбираются параметры модели для всех участков сердца, предпоследним этапом является моделирование распространения возбуждения. Основываясь на результатах моделирования, производится графическая визуализация распространения возбуждения на поверхности сердца пациента.

### **Заключение.**

Использование модели электрической активности сердца позволяет определить «электрический портрет» сердца пациента в течении кардиоцикла, что дает возможность извлечения диагностических признаков при анализе косвенных параметров, определяемых на основе моделирования электрических процессов в сердце и выходных данных с электрокардиографа на наносенсорах.

*Работа выполнена при финансовой поддержке «Проведение фундаментальных исследований по выявлению изменений электрокардиографического сигнала нановольтового и микровольтового уровня с целью ранней диагностики сердечно-сосудистых заболеваний» по Госзаданию «Наука».*

### **Список литературы**

1. Баранов В.А., Авдеева Д.К., Пеньков П.Г., Южаков М.М., Максимов И.В., Балахонова М.В., Григорьев М.Г. Структурный подход к обратным задачам вычислительной диагностики в кардиологии // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – №50.
2. Сердечно - сосудистые заболевания. Информационный бюллетень N°317. Всемирная организация здравоохранения [Электронный ресурс]: URL: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs317/ru/index.html>
3. Сердце человека. Wikipedia.ru: [Электронный ресурс]: URL: [http://ru.wikipedia.org/wiki/Сердце\\_человека](http://ru.wikipedia.org/wiki/Сердце_человека)
4. Простейшие модели возбудимых сред. Mathematical Cell: [Электронный ресурс]: URL: [http://www.mathcell.ru/ru/obzors/obzor\\_Elkin2](http://www.mathcell.ru/ru/obzors/obzor_Elkin2).
5. Alexander Muirhead. Wikipedia.com: [Электронный ресурс]: URL: [http://en.wikipedia.org/wiki/Alexander\\_Muirhead](http://en.wikipedia.org/wiki/Alexander_Muirhead)

### **Рецензенты:**

Агафонников В.Ф., д.т.н., профессор кафедры конструирования узлов и деталей РЭС Томского университета систем управления и радиоэлектроники, г. Томск.

Ким В.Л., д.т.н., профессор кафедры вычислительной техники Национального исследовательского Томского политехнического университета, г. Томск.