

**AZƏRBAYCAN MİLLİ ELMLƏR AKADEMİYASI  
İDARƏETMƏ SİSTEMLƏRİ İNSTİTUTU**

---

---

*Əlyazması hüququnda*

**Rzayeva Nərmin Eldar qızı**

**ÜRƏK KÜYÜNÜN ROBAST NOİSE ANALİZ  
TEKNOLOGİYASININ TƏTBİQİ İLƏ ÜRƏK  
FƏALİYYƏTİNİN MONİTORİNQİ SİSTEMİ**

**İxtisas: 1203.01 – Kompüter elmləri**

**Texnika üzrə fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün təqdim  
edilmiş dissertasiyasının**

**AVTOREFERATI**

**Bakı – 2017**

**НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНА  
ИНСТИТУТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ**

---

*На правах рукописи*

**НАРМИН ЭЛЬДАР КЫЗЫ РЗАЕВА**

**СИСТЕМА МОНИТОРИНГА  
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СЕРДЦА С  
ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ РОБАСТНОГО  
NOISE АНАЛИЗА ЕГО ШУМА**

Специальность: 1203.01 – «Компьютерные науки»

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертация на соискание учёной степени доктора философии  
по технике

Баку – 2017

Работа выполнена в Институте Систем Управления НАН  
Азербайджана

Научный руководитель:

доктор технических наук,  
профессор, академик НАН  
Азербайджана

Алиев Т.А.

Научный консультант:  
доктор биологических наук,  
профессор, член корреспондент  
НАН Азербайджана

Мамедов А.М.

Официальные оппоненты:  
доктор технических наук,  
профессор

Алиев А.А.

доктор технических наук,  
профессор

Мамедов Дж.Ф.

Ведущая организация:

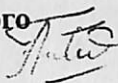
Институт Информационных  
Технологий НАН Азербайджана

Защита диссертации состоится 16 июня 2017 г. в 14:00 часов  
на заседании Диссертационного совета D01.121 при Институте  
систем управления НАН Азербайджана по адресу: ул. Б.  
Вахабзаде 9, Баку, AZ1141.

С диссертационной работой можно ознакомиться в  
библиотеке Института Систем Управления НАН Азербайджана.

Автореферат разослан «15» мая 2017 года

Учёный секретарь диссертационного  
совета D01.121, к.ф.м.н., доцент



А.Б.Пашаев

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Количество случаев заболевания сердца в наше время прогрессивно увеличивается и охватывает широкие слои населения. Трудность своевременной диагностики этих заболеваний усугубляется в связи с большой загруженностью врачей и высокой стоимостью большинства медицинских методов диагностики. По этим причинам, во многих случаях, больной обращается к врачу на стадии, когда болезнь приобретает явно выраженную форму. При этом, несмотря на то, что заболевание поддается диагностике известными методами, его лечение значительно усложняется. Таким образом, по вине несвоевременной диагностики заболеваний сердца имеет место большое количество трагических последствий. В связи с этим, проблема диагностики находится под пристальным вниманием ученых и врачей.

Кроме этого существующие на сегодняшний день методы медицинской диагностики заболеваний сердца отнимают у пациентов много времени, сил и требуют немалых материальных затрат. Указанные причины, несомненно, препятствуют частым профилактическим проверкам. Таким образом, возникает острая необходимость в создании удобного, простого и недорогого инструментария, чтобы люди в домашних и даже рабочих условиях могли бы периодически проверять состояние сердца. Такой инструментарий не только позволил бы избавить пациентов от вышеуказанных трудностей, но и облегчил бы труд врачам, избавив их от огромного числа псевдобольных, позволяя тем самым, концентрировать свое внимание на пациентах, действительно нуждающихся в оказании им быстрой квалифицированной медицинской помощи. Кроме того, несомненным преимуществом данной системы является тот факт, что появится возможность обнаружения изменений в функционировании сердца в скрытом периоде их зарождения, когда болезнь с легкостью поддается лечению.

**Цель работы.** Целью работы является создание теоретических основ и практических обоснований для создания

системы мониторинга скрытого периода зарождения изменений в функционировании сердца при помощи ноутбуков.

Рассмотрена возможность создания системы в двух вариантах:

1) для массового использования – для здоровых людей, желающих постоянно контролировать состояние своего сердца;

2) для больных, страдающих заболеваниями сердечно-сосудистой системы.

В обоих случаях под системой мониторинга сердца с применением ноутбука подразумевается оснащение их программными средствами робастных noise технологий, позволяющих идентифицировать скрытый период зарождения изменений в состоянии сердца для людей из обеих групп.

**Объект исследования.** Объектом исследования являются люди, страдающие заболеваниями сердечно-сосудистой системы, а также пользователи ноутбуков, желающие проводить постоянный контроль за состоянием сердца в профилактических целях.

**Методика исследования.** Проведенные в диссертационной работе исследования базируются на методах и принципах вычислительной математики, технологиях цифровой обработки биологических сигналов, вероятностно-статистических методах, методах робастного корреляционного анализа, технологиях анализа помехи (noise анализа), а также на многочисленных вычислительных экспериментах.

#### **Научная новизна.**

- разработаны алгоритмы, технологии и программные средства вычисления робастных оценок нормированных корреляционных функций шума сердца, максимально приближенных к оценкам нормированных корреляционных функций полезного сигнала;

- разработаны алгоритмы, технологии и программные средства, позволяющие определить величину дисперсии помехи шума сердца, состоящего из суммы полезного сигнала и помехи;

- разработаны алгоритмы, технологии и программные средства формирования информативных признаков для мониторинга скрытого периода зарождения изменений в функционировании сердца;

- проведены многочисленные вычислительные эксперименты, подтверждающие эффективность разработанных алгоритмов и технологий;

- на базе предложенных алгоритмов и технологий разработан и создан экспериментальный вариант системы мониторинга изменений в функционировании сердца с применением ноутбука в сочетании с электронным стетоскопом.

**Основные результаты диссертации, выносимые на защиту.**

- Предложено применение оценки дисперсии помехи  $D_\varepsilon$  шума сердца как для коррекции погрешностей нормированных корреляционных функций, так и в качестве информативного признака для мониторинга скрытого периода изменений в функционировании сердца.

- Разработана технология вычисления оценки робастных нормированных корреляционных функций шума сердца.

- Показано, что при помощи оценок дисперсии помехи  $D_\varepsilon$  и робастных нормированных корреляционных функций  $r_{gg}^R(\mu)$  шума сердца возможно формирование информативных признаков для решения задачи мониторинга изменения состояния функционирования сердца.

- Экспериментально установлено, что все полученные информативные признаки являются надежными индикаторами для мониторинга скрытого периода изменений в функционировании сердца в режиме онлайн.

**Личный вклад соискателя.** Основные результаты, выносимые соискателем на защиту настоящей диссертационной работы, получены им лично.

**Практическая значимость и реализация результатов работы.** На основные результаты диссертационной работы

получен Евразийский патент, который занял второе место в IV Республиканском конкурсе за достижения в области Патентования за 2016 год. Полученные автором результаты опубликованы в журнале *Biomedical Signal Processing and Control* с импакт-фактором  $IF=1.521$ . Данная статья победила в номинации Лучшей научной статьи в области Информационно-Коммуникационных Технологий в 2016 году в конкурсе, объявленном Министерством Связи и Высоких Технологий Азербайджанской Республики, посвященном 135-й годовщине со дня создания телефонной связи в Азербайджане.

**Апробация работы.** Основные теоретические и практические результаты, приведенные в работе, докладывались и обсуждались на следующих международных и республиканских симпозиумах и конференциях:

- IV International Conference “Problems of Cybernetics and Informatics”, 12-14 september 2012, Baku

- «Информатика и Системные Науки ICH-2013», IV Всеукраинская научно-практическая конференция, 21-23 марта 2013, Полтава

- ICT Proposers Day Event in Florence, 9-10 November 2014, Florence

- “Elektron tibbin multidissiplinar problemləri” I respublika elmi-praktiki konfrans, 24 may 2016 il, Bakı

**Публикации.** По результатам проведённых исследований соискателем опубликованы 15 научных трудов, в том числе 1 монография, опубликованная за рубежом, 5 статей, напечатанных в ведущих зарубежных научных журналах, 1 из которых опубликована в журнале с высоким импакт-фактором  $IF=1.521$ , 3 научные работы являются материалами международных и республиканских симпозиумов и конференций. На основные результаты диссертации получен Евразийский патент.

## СОДЕРЖАНИЕ

Во введении диссертации изложена актуальность работы, приведён перечень поставленных задач, необходимых для реализации цели диссертации, описана структура и содержание работы, а также искомые результаты, выносимые на защиту.

В первой главе диссертационной работы исследованы причины появления заболеваний сердечно-сосудистой системы, их признаки, симптомы и варианты лечения, факторы риска, принципы диспансеризации людей, страдающих указанными заболеваниями. Описаны этапы лабораторных исследований и существующие аппаратные средства и технологии диагностики заболеваний сердца. Проведен обзор существующих на мировом рынке мобильных средств мониторинга сердца. Рассмотрены основные задачи компьютерной диагностики указанных заболеваний и ее недостатки. Сформулирована постановка задачи.

Во второй главе диссертационной работы изложены основные факторы, влияющие на адекватность результатов процедуры мониторинга сердца традиционными методами корреляционного и спектрального анализа. Рассмотрено влияние процедуры фильтрации помехи и выбора шага дискретизации на полученные результаты мониторинга. Сформулированы трудности применения ноутбуков для онлайн контроля за изменениями в функционировании сердца.

В третьей главе разработана технология устранения погрешностей от процедуры нормирования корреляционных функций шума сердца

$$r_{gg}^R(\mu) = \begin{cases} R_{gg}(\mu)/D_g = 1 & \text{при } \mu = 0 \\ R_{gg}(\mu)/(D_g - D_\varepsilon) & \text{при } \mu \neq 0 \end{cases} \quad (1)$$

которая позволила получить робастные оценки нормированных корреляционных функций. Для подтверждения достоверности предложенной процедуры коррекции погрешностей от нормирования корреляционных функций были проведены вычислительные эксперименты, результаты которых приведены



ниже.

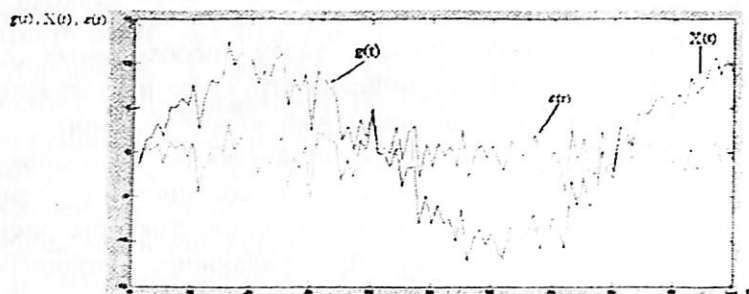


Рис.1. Графики изменения  $g(i\Delta t)$ ,  $X(i\Delta t)$  и  $\varepsilon(i\Delta t)$  во времени

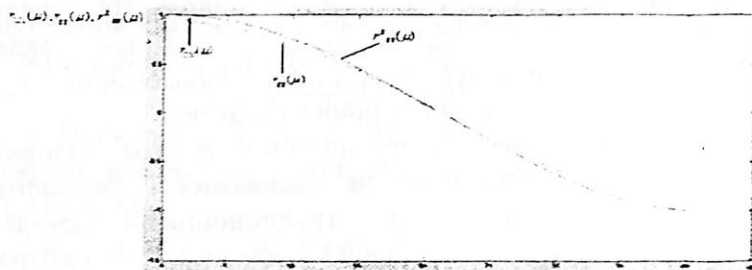


Рис.2. Графики нормированных корреляционных функций полезного  $r_{XX}(\mu)$  и зашумленного сигнала  $r_{gg}(\mu)$ , а также робастной нормированной корреляционной функции зашумленного сигнала  $r_{gg}^R(\mu)$ .

Как видно из графика на рис. 2 оценки нормированной корреляционной функции  $r_{gg}^R(\mu)$  сигнала  $g(i\Delta t)$ , вычисленные по формуле (1), дают более достоверный результат. Полученные в ходе эксперимента оценки нормированных корреляционных функций полезного  $r_{XX}(\mu)$  и зашумленного сигнала  $r_{gg}(\mu)$ , а также робастной нормированной корреляционной функции зашумленного сигнала  $r_{gg}^R(\mu)$  приведены в работе в виде таблицы, а также показана целесообразность применения этих оценок в качестве информативных признаков для надежного мониторинга изменений в функционировании сердца.

В третьей главе также разработана технология определения оценок дисперсии помехи  $D_\varepsilon$  шума сердца  $g(i\Delta t)$  и релейной взаимно корреляционной функции между полезным сигналом и помехой  $R_{X\varepsilon}^*(0)$  по выражениям

$$D_\varepsilon \approx 1/N \sum_{i=1}^N [g^2(i\Delta t) + g(i\Delta t)g((i+2)\Delta t) - 2g(i\Delta t)g((i+1)\Delta t)], \quad (2)$$

$$R_{X\varepsilon}^*(0) \approx 1/N \sum_{i=1}^N [sgng(i\Delta t)g(i\Delta t) - 2sgng(i\Delta t)g((i+1)\Delta t) + sgng(i\Delta t)g((i+2)\Delta t)]. \quad (3)$$

Показано, что данные оценки могут быть использованы в качестве информативных признаков для мониторинга скрытого периода зарождения изменений в функционировании сердца.

В последнем параграфе 3-ей главы предложена робастная noise технология мониторинга скрытого периода зарождения изменений в функционировании сердца по нижеприведенному алгоритму.

1. По выражению

$$R_{gg}(\mu) = 1/N \sum_{i=1}^N g(i\Delta t)g((i+\mu)\Delta t)$$

определяются значения оценки автокорреляционной функции шума сердца при  $\mu = 1, 2, 3, \dots$

2. В качестве информативного признака по выражению

$$D_g = 1/N \sum_{i=1}^N g(i\Delta t)g(i\Delta t);$$

определяется оценка дисперсии шума сердца  $g(i\Delta t)$ .

3. В качестве информативного признака по выражению

$$D_\varepsilon \approx 1/N \sum_{i=1}^N [g^2(i\Delta t) + g(i\Delta t)g((i+2)\Delta t) - 2g(i\Delta t)g((i+1)\Delta t)]$$

определяется оценка дисперсии помехи  $D_\varepsilon$  шума сердца.

4. В качестве информативного признака по формуле

$$R_{X\epsilon}^*(0) \approx 1/N \sum_{i=1}^N [sgng(i\Delta t)g(i\Delta t) - 2sgng(i\Delta t)g((i+1)\Delta t) + \\ + sgng(i\Delta t)g((i+2)\Delta t)]$$

определяется оценка релейной взаимно корреляционной функции между полезным сигналом и помехой  $R_{X\epsilon}^*(0)$ .

5. Отношения  $K_1 = D_\epsilon/D_g$  и  $K_2 = D_\epsilon/R_{X\epsilon}^*(0)$  также определяются в качестве информативного признака.

6. Далее путем анализа шума сердца по формуле

$$r_{gg}^R(\mu) = \begin{cases} R_{gg}(\mu)/D_g = 1 & \text{при } \mu = 0 \\ R_{gg}(\mu)/(D_g - D_\epsilon) & \text{при } \mu \neq 0 \end{cases}$$

определяются оценки робастной нормированной корреляционной функции шума сердца  $r_{gg}^R(\mu)$ , при  $\mu = 1\Delta t, 2\Delta t, 3\Delta t, \dots, N\Delta t$ .

7. В качестве информативных признаков определяются первые два значения  $\mu_{01}$  и  $\mu_{02}$ , при которых  $r_{gg}^R(\mu) \approx 0$ .

8. Также в качестве информативного признака определяется значение  $\Delta\mu = \mu_{02} - \mu_{01}$ .

9. Затем из полученных результатов на кривой корреляционной функции выбираются такие оценки, при которых значения  $r_{gg}^R(\mu)$  приближенно равны 0,75, 0,5, 0,25 и 0. В качестве информативных признаков определяются соответствующие значения  $\mu$ , т.е.  $\mu_{0,75}, \mu_{0,5}, \mu_{0,25}$ .

10. На оси абсцисс, т.е.  $\mu$  в качестве информативных признаков определяются временные отрезки  $\Delta\mu_1, \Delta\mu_2$  и  $\Delta\mu_3$ , т.е.:

$$\Delta\mu_1 = \mu_{0,75} - \mu_{0,5},$$

$$\Delta\mu_2 = \mu_{0,5} - \mu_{0,25},$$

$$\Delta\mu_3 = \mu_{0,25} - \mu_{01}.$$

11. В качестве информативных признаков определяются максимальные изменения робастной нормированной взаимно корреляционной функции  $r_{gg}^R(\mu)$ , а именно:

$$K_{1max} = \max(r_{gg}(\mu) - r_{gg}(\mu + 1))$$

$$K_{2max} = \max(r_{gg}(\mu) - r_{gg}(\mu + 2))$$

$$K_{3max} = \max(r_{gg}(\mu) - r_{gg}(\mu + 3))$$

$$K_{4max} = \max(r_{gg}(\mu) - r_{gg}(\mu + 4))$$

$$K_{5max} = \max(r_{gg}(\mu) - r_{gg}(\mu + 5))$$

Таким образом, проведенные многочисленные эксперименты показали, что для мониторинга изменений в функционировании сердца, применяя предложенные выше робастные noise технологии, можно сформировать множество информативных признаков

$$D_\varepsilon, R_{X\varepsilon}^*(0), K_1, K_2, \mu_{01}, \mu_{02}, \Delta, \mu_{0,75}, \mu_{0,5}, \mu_{0,25}, \Delta\mu_1, \Delta\mu_2, \Delta\mu_3, \\ K_{1max}, K_{2max}, K_{3max}, K_{4max}, K_{5max}, \quad (4)$$

Эксперименты, проводимые в течение длительного времени, также подтвердили, что эти оценки несут в себе информацию о скрытом периоде зарождения изменений в функционировании сердца, так как изменения в состоянии сердца отражаются на их комбинациях. Указанная специфическая особенность позволила использовать вышеуказанные робастные noise оценки для мониторинга скрытого периода зарождения изменений в функционировании сердца.

В четвертой главе разработана система робастного noise мониторинга изменений в функционировании сердца на базе ноутбука. Показано, что реализация системы возможна в двух вариантах:

1) для массового использования - для здоровых людей, желающих контролировать свое сердце в профилактических целях;

2) для больных, страдающих заболеваниями сердечно-сосудистой системы.

В работе предлагается экспериментальный вариант системы, реализованный на базе:

1. Ноутбука;

2. Электронного стетоскопа Litmann M3200 для выслушивания шума сердца, который посредством Bluetooth-соединения связан с ноутбуком HP Pro Book.

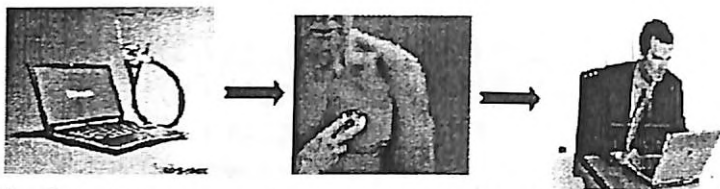


Рис.3. Экспериментальный вариант реализации системы мониторинга изменений в функционировании сердца на ноутбуке.

Как видно из рисунка, электронный стетоскоп благодаря высокой чувствительности диафрагмы с легкостью выслушивает шум сердца и посредством Bluetooth-соединения передает его на ноутбук. При помощи данного варианта системы были проведены многочисленные эксперименты на людях из различных возрастных групп.

В работе предлагается следующий принцип работы системы. Каждое утро человек прослушивает свое сердце при помощи миниатюрного микрофона (для выслушивания шума сердца и передачи ее на ноутбук) или стетоскопа. На ноутбуке производится обработка шума сердца и вычисление указанных в третьей главе оценок.

Из указанных характеристик шума сердца составляется комбинация информативных признаков (КИП), соответствующая текущему состоянию владельца. Например, с самого утра владелец может прослушивать свое сердце несколько раз, тогда оценки будут отличаться друг от друга, но на незначительную величину. Таким образом, каждая из этих КИП в качестве эталона будет занесена во множество комбинаций информативных признаков его утреннего состояния. Таким же образом создаются эталонные КИП, соответствующие другим временам суток. Например, прослушивать свое сердце человек может на работе в 10 часов утра, во время обеда или после него, после работы, после ужина, перед сном и т.д. Таким образом, за день для владельца будет сформировано несколько множеств комбинаций информативных признаков (МКИП). Эти множества заносятся в базу множеств комбинаций информативных признаков

(БМКИП), индивидуальную для данного пользователя. Последующие дни процесс обучения повторяется. При этом, если какая-либо комбинация оценок совпадает с уже имеющейся в БМКИП, то отмечается факт совпадения. Если же текущая комбинация отличается от всех уже имеющихся в БМКИП, то в соответствующее множество заносится новый эталон. Со временем наступает момент, когда вновь полученные текущие оценки неоднократно оказываются равными или близкими по значению к уже имеющимся в БМКИП комбинациям из соответствующего множества. Этим процесс обучения считается завершенным.

После этого владелец устройства продолжает прослушивать свое сердце в разное время суток. При этом если полученная комбинация оценок совпадает с уже имеющимися в БМКИП оценками из соответствующего множества, на экране появляется сообщение: «В состоянии Вашего сердца нет никаких изменений». Если же в какой-то период времени текущая комбинация будет отличаться от всех, соответствующих данному состоянию и уже имеющихся в БМКИП, тогда на экране устройства появляется сообщение: «В состоянии Вашего сердца произошли изменения!». Одновременно с этим на экране появляется перечень всех соответствующих данному состоянию комбинаций оценок из БМКИП, а также значение оценок текущей КИП. В случае, когда разность оценок из этих комбинаций превышает определенный пороговый уровень, тогда владельцу дается рекомендация обратиться к врачу-кардиологу. Если после обследования врач приходит к выводу, что поводов для беспокойства нет, то текущая комбинация также вносится в соответствующее множество эталонных комбинаций и запоминается в БМКИП. Следует отметить, что при этом для идентификации шума сердца по МКИП используются хорошо известные экспертные системы в сочетании с нейросетевой технологией.

Таким образом, предложенная робастная noise система мониторинга скрытого периода зарождения изменений в функционировании сердца позволяет с одной стороны минимизировать количество ложных обращений к врачам, тем самым разгружая их ценное время, а с другой стороны освободить пациентов от беспочвенной траты времени, сил и средств.

Далее в четвертой главе приведены результаты проведенных вычислительных экспериментов. Эксперименты проводились в течение 2 лет над людьми из различных возрастных групп с применением описанных в 3-ей главе робастных noise технологий. Группы были разделены по возрастному принципу: в первую группу вошли молодые люди в возрасте 20-35 лет, во вторую группу – люди среднего возраста 35-55 лет, в третью группу – старше 55 лет.

В ходе испытаний в течение определенного периода времени (от 10 дней до месяца) ежедневно тестировались люди из указанных возрастных групп. Известно, что в кардиологии для уточнения природы гемодинамических расстройств, их динамики под влиянием лечения и с целью выявления функциональных резервов сердечно-сосудистой системы, нередко применяют различные нагрузочные тесты. Поэтому выслушивание шума сердца каждого участника испытаний происходило в 2 этапа: сначала в режиме покоя, а затем после некоторой физической нагрузки. Оценки были вычислены для обоих случаев.

В ходе исследований, применяя предложенные технологии, экспериментально было доказано, что после физической нагрузки текущие КИП отличаются от эталонных. Таким образом, в результате робастного noise анализа шума сердца стало возможно выявить изменения в функционировании сердца. Для того чтобы повысить чистоту экспериментов, участники испытания подвергались физическим нагрузкам разного характера, таким как приседания, пробежки, ходьба по лестнице и т.д. По полученным результатам формировались

различные КИП из оценок (4). На конечном этапе многочисленными экспериментальными исследованиями были выявлены информативные признаки, наиболее адекватно отражающие изменения, происходящие в функционировании сердца. Таким образом, определена следующая конечная комбинация информативных признаков  $K_2, \mu_{01}, \mu_{0,5}, \Delta\mu, K_{2max}, K_{5max}$  и  $D_\epsilon, R_{X\epsilon}^*(0)$ . После разнообразной физической нагрузки, которой подвергались испытуемые, изменение комбинаций этих информативных признаков позволило достоверно и надежно проследить изменения в функционировании сердца по его шуму.

Ниже, в таблицах приведены результаты небольшой части проведенных экспериментов. Из этих таблиц очевидно, что при помощи КИП в виде характеристик шума сердца  $K_2, \mu_{01}, \mu_{0,5}, \Delta\mu, K_{2max}, K_{5max}$  и  $D_\epsilon, R_{X\epsilon}^*(0)$  можно в реальном масштабе времени осуществить мониторинг функционирования сердца каждого человека. Благодаря простоте вычислений указанных информативных признаков они могут быть легко реализованы на ноутбуках. Это открывает возможность широкого повсеместного применения рассматриваемой технологии пользователями этих устройств.

Таблица 1.  
Испытуемый №1. Возраст 20 лет

Дата и время	Состояние	$K_2$	$\mu_{01}$	$\mu_{0,5}$	$\Delta\mu$	$K_{2max}$	$K_{5max}$	$D_\epsilon$	$R_{X\epsilon}^*(0)$
08.05.15 11:20	Д.Н.*	30	50	35	70	0.05	0.21	19.1	172.5
08.05.15 11:24	П.Н.*	28.3	40	30	80	0.02	0.011	9.2	98.1
09.05.15 11:21	Д.Н.	31.1	55	35	75	0.04	0.23	17.2	150.2
09.05.15 11:26	П.Н.	29	45	30	85	0.02	0.016	8.7	88.3
10.05.15 11:19	Д.Н.	32.1	50	35	75	0.044	0.2	18.2	165.1



10.05.15 11:24	П.Н.	29.2	40	30	85	0.02	0.023	9.3	82.3
11.05.15 10:20	Д.Н.	30.5	55	35	70	0.041	0.3	17.4	191.2
11.05.15 10:25	П.Н.	28.3	45	30	80	0.02	0.027	7.8	89.4

Д.Н.\* до физической нагрузки

П.Н\* после физической нагрузки

Таблица 2.

Испытуемый №2. Возраст 25 лет.

Дата и время	Состояние	$K_2$	$\mu_{01}$	$\mu_{0.5}$	$\Delta\mu$	$K_{2max}$	$K_{5max}$	$D_\epsilon$	$R_{Х\epsilon}^*(0)$
04.05.15 10:37	Д.Н.	31.8	40	30	65	0.06	0.11	20.3	173.6
04.05.15 10:42	П.Н	28.5	35	25	75	0.03	0.01	11.2	76.5
05.05.15 10:39	Д.Н..	31	45	35	60	0.08	0.1	20.6	185.7
05.05.15 10:44	П.Н.	28	35	25	70	0.04	0.01	10.7	65.3
05.05.15 10:40	Д.Н.	32	40	35	65	0.06	0.13	21.2	170.3
05.05.15 10:45	П.Н.	29	30	25	70	0.03	0.01	10.8	58.8
05.05.15 10:40	Д.Н.	31.5	45	30	60	0.07	0.17	22.3	170.9
05.05.15 10:46	П.Н.	29.7	35	25	80	0.02	0.02	11.8	75.2

Таблица 3.

Испытуемый №3. Возраст 41 год.

Дата и время	Состояние	$K_2$	$\mu_{01}$	$\mu_{0.5}$	$\Delta\mu$	$K_{2max}$	$K_{5max}$	$D_\epsilon$	$R_{Х\epsilon}^*(0)$
01.02.15 10:11	Д.Н.	34.1	55	40	90	0.09	0.3	26.3	236.1
01.02.15 10:16	П.Н	30	35	25	100	0.05	0.02	14.2	115.3
02.02.15 10:12	Д.Н.	36.2	50	35	95	0.08	0.3	28.4	214.2
02.02.15 10:18	П.Н.	29.7	40	20	105	0.05	0.02	16.2	128.3

03.02.15 10:10	Д.Н.	33.7	55	35	95	0.08	0.4	27.4	224.2
03.02.15 10:15	П.Н.	30.5	35	20	105	0.03	0.03	12.3	114.2
04.02.15 10:11	Д.Н.	34.1	50	40	95	0.09	0.3	26.5	225.9
04.05.15 10:16	П.Н.	29.8	35	25	105	0.04	0.02	11.5	111.7

Таблица 4.

Испытуемый №4. Возраст 49 лет.

Дата и время	Состояние	$K_2$	$\mu_{01}$	$\mu_{0.5}$	$\Delta\mu$	$K_{2max}$	$K_{5max}$	$D_\epsilon$	$R_{X\epsilon}^*(0)$
13.04.15 09:57	Д.Н.	35.5	50	30	115	0.08	0.31	21.2	179.8
13.04.15 10:04	П.Н.	23.3	40	20	125	0.03	0.02	10.3	76.8
14.04.15 09:57	Д.Н.	32.1	55	35	110	0.09	0.33	26.6	176.7
14.04.15 10:44	П.Н.	24.3	45	25	120	0.04	0.03	10.2	81.5
15.04.15 10:00	Д.Н.	35.6	55	30	115	0.08	0.29	25.3	182.5
15.04.15 10:06	П.Н.	24.1	40	20	130	0.04	0.02	11.2	98.3
16.02.15 10:11	Д.Н.	31.8	55	35	115	0.07	0.21	27.6	174.1
16.05.15 10:17	П.Н.	22.2	45	25	125	0.03	0.02	13.2	86.7

Таблица 5.

Испытуемый №5. Возраст 56 лет.

Дата и время	Состояние	$K_2$	$\mu_{01}$	$\mu_{0.5}$	$\Delta\mu$	$K_{2max}$	$K_{5max}$	$D_\epsilon$	$R_{X\epsilon}^*(0)$
29.10.15 10:18	Д.Н.	36.8	70	40	170	0.06	0.2	18.2	201.2
29.10.15 10:23	П.Н.	26.3	60	30	185	0.02	0.02	9.6	109.2
30.10.15 10:15	Д.Н.	36.3	75	45	175	0.05	0.3	20.1	216.3
30.10.15 10:20	П.Н.	27.1	65	35	185	0.02	0.02	8.2	102.3

31.10.15 10:16	Д.Н.	34.9	70	45	170	0.06	0.4	24.2	197.8
31.10.15 10:22	П.Н.	25.7	60	35	190	0.03	0.031	9.2	100.9
01.11.15 10:17	Д.Н.	36.1	70	50	175	0.07	0.3	21.2	200.3
01.11.15 10:23	П.Н.	24.9	60	35	185	0.03	0.02	10.8	98.7

Таблица 6  
Испытуемый №6. Возраст 80 лет.

Дата и время	Состояние	$K_2$	$\mu_{01}$	$\mu_{0.5}$	$\Delta\mu$	$K_{2max}$	$K_{5max}$	$D_E$	$R_{X_E}^*(0)$
03.05.15 11:02	Д.Н.	32.5	75	50	175	0.08	0.12	12.8	150.9
03.05.15 11:07	П.Н.	22.1	65	40	185	0.04	0.01	3.7	32.7
04.05.15 11:00	Д.Н.	30.6	70	55	175	0.09	0.2	10.9	125.4
04.05.15 11:06	П.Н.	24.2	60	40	190	0.03	0.027	4.2	36.1
05.05.15 11:06	Д.Н.	34.6	80	55	170	0.07	0.24	11.2	121.1
05.05.15 11:12	П.Н.	21.2	65	45	180	0.03	0.019	5.1	42.3
06.05.15 11:04	Д.Н.	38.6	75	50	165	0.07	0.1	12.7	144.8
06.05.15 11:10	П.Н.	24.8	65	40	180	0.03	0.02	4.6	50.1

Эксперименты показали, что для здоровых людей при нормальном состоянии функционирования сердца, форма его нормированной корреляционной функции имеет вид экспоненциальной кривой. При начале физической нагрузки эта форма меняется: при увеличении нагрузки она постепенно приближается к линейной форме, при больших нагрузках она приобретает почти линейную форму. Сравнение вышеприведенных таблиц показывает, что у молодых переход из экспоненциальной формы к линейной и наоборот происходит гораздо быстрее, чем у взрослых. Было очевидно, что путем

идентификации шума сердца по комбинациям информативных признаков  $K_2, \mu_{0,1}, \mu_{0,5}, \Delta\mu, K_{2max}, K_{5max}$  и  $D_\epsilon, R_{X\epsilon}^*$  до и после выполнения некоторой физической нагрузки в течении 2-3-х минут можно выявить даже незначительное изменение в состоянии сердца. Благодаря этому стала очевидной возможность осуществить надежный мониторинг изменений в состоянии сердечно-сосудистой системы в реальном масштабе времени в домашних, либо в прочих вне клинических условиях.

Кроме того, в четвертой главе показана возможность использования смартфонов для робастного noise мониторинга функционирования сердца в режиме онлайн.

Вариант системы, где в качестве основного устройства подразумевается смартфон, может быть реализован в двух вариантах:

1. система, состоящая из миниатюрной медицинской системы мониторинга с микрофоном, которая передает шум сердца на смартфон, где происходит дальнейшая обработка;

2. система, не подразумевающая наличия никакой дополнительной аппаратуры, которая производит выслушивание шума сердца непосредственно микрофоном смартфона в режиме повышенной чувствительности.

Система со смартфоном естественно кажется более предпочтительной для реализации по сравнению с системой на базе ноутбука, так как она больше отвечает критерию мобильности. Кроме того, указанный выше второй вариант системы не требует создания никакой дополнительной аппаратуры для регистрации шума сердца. В перспективе производителям смартфонов для повышения эффективности режима прослушивания шума сердца потребуется лишь только предусмотреть режим повышенной чувствительности микрофона (достаточной для качественной записи шума сердца). Очевидно, что повышение чувствительности микрофона смартфона откроет возможности, достаточные для получения необходимой информации и для проведения мониторинга изменений в функционировании сердца.

Концепция системы мониторинга изменений в функционировании сердца со смартфоном представлена на рисунке.

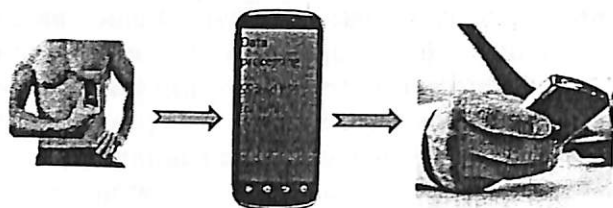


Рис. 4. Система мониторинга изменений в функционировании сердца на базе смартфона.

Во всех вариантах мониторинга сначала смартфон функционирует в режиме обучения (аналогично рассмотренному выше принципу работы системы с ноутбуком). Для этого пользователь в своем исходном здоровом состоянии в различное время суток при различных нагрузках прослушивает телефоном свое сердце. При каждом таком прослушивании из вышеуказанных оценок по технологиям, описанным в 3-ей главе, формируется КИП, отражающая состояние его сердца. Таким образом, в течение нескольких дней смартфон, работая в режиме обучения, из полученных КИП, формирует МКИП, а затем БКИП, соответствующий здоровому состоянию его сердца. После этапа обучения, когда вновь полученные оценки будут неоднократно повторять уже имеющиеся в соответствующих МКИП значения, смартфон выдает на экране сообщение о том, что этап обучения завершен, и он готов оказать услугу мониторинга изменений в функционировании сердца. При согласии пользователь нажимает клавишу режима мониторинга и по информации, полученной в период прослушивания шума его сердца от микрофона, формируется текущая КИП.

В 1-ой главе диссертационной работы были рассмотрены существующие на сегодняшний день мобильные системы мониторинга состояния сердечно-сосудистой системы. Прделанный обзор показал, что существующие на

сегодняшний день мобильные средства мониторинга состояний сердечнососудистой системы, имеют следующие недостатки:

- Неспособность в режиме онлайн без участия медицинского персонала определить необходимость в прохождении медицинских обследований;

- Неспособность непрерывного контроля за изменениями в состоянии больных, страдающих сердечно-сосудистыми заболеваниями;

- Неспособность выявления скрытой стадии ССС заболеваний без участия медицинского персонала, что могло бы уберечь людей от дальнейших осложнений при своевременном обращении к врачу.

В работе рассмотрена возможность разработки системы, которая позволила бы избавить людей от вышеуказанных трудностей в их повседневной жизни. Ни одна из существующих на сегодняшний день медицинских систем, к сожалению, функцию онлайн мониторинга изменений в функционировании сердца без участия медицинского персонала не выполняет. Предложенная в диссертационной работе система не требует наличия каких-либо дополнительных медицинских услуг или устройств. Она позволяет пользователю при помощи ноутбука или смартфона самому определить, есть ли необходимость обращаться к врачу.

Возможно, в скором времени для смартфонов функция мониторинга указанных заболеваний станет не менее важной, чем функция телефонных переговоров. Благодаря этому режиму смартфонов многие люди, получив информацию о начале скрытого периода заболеваний и приняв своевременные меры, смогут с лёгкостью восстановить свое здоровье. Это позволит избежать судьбу огромного числа больных, обращающихся к врачу в момент, когда заболевание уже приобрело явно выраженную форму и с трудностью поддается лечению.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

• Предложено применение оценки дисперсии помехи  $D_\varepsilon$  шума сердца как для коррекции погрешностей нормированных корреляционных функций, так и в качестве информативного признака для мониторинга скрытого периода изменений в функционировании сердца.

• Разработана технология вычисления оценки робастных нормированных корреляционных функций шума сердца.

• Показано, что при помощи оценок дисперсии помехи  $D_\varepsilon$  шума сердца и робастных нормированных корреляционных функций шума сердца можно формировать информативные признаки, при помощи которых можно решить задачу мониторинга изменения состояния функционирования сердца.

• Эксперименты, проведенные на людях из различных возрастных групп, позволили прийти к следующему заключению:

1. При идентификации состояния сердца путем анализа ее шума погрешность нормированной автокорреляционной функции, вычисленной по традиционной технологии, влияет на достоверность результатов идентификации. Поэтому для обеспечения адекватности полученных результатов при вычислении оценок робастных нормированных автокорреляционных функций целесообразно исключение этой погрешности, т.е. устранение влияния помехи  $\varepsilon(i\Delta t)$ .

2. Любое изменение в состоянии сердца приводит к изменению информативных признаков  $K_2, \mu_{0,1}, \mu_{0,5}, \Delta\mu, K_{2max}, K_{5max}$  и  $D_\varepsilon, R_{X\varepsilon}^*$ , вычисление которых легко реализуемо.

3. Реализация предложенных технологий на ноутбуках и смартфонах требует лишь использование соответствующих программных средств, которые не требуют больших материальных затрат.

4. Возможность широкого применения этой технологий связана тем, что ресурсы современных ноутбуков и смартфонов

вполне достаточны для формирования из вышеуказанных информативных признаков эталонных множеств и запоминания их в БМКИП. Благодаря этому с их применением легко можно осуществить мониторинг скрытого периода изменений в функционировании сердца в режиме онлайн.

**Основные результаты диссертационной работы опубликованы в следующих научных статьях:**

1. Саттарова У.Э., Саттаров И.Р., Рзаева Н.Э. Результаты вычислительных экспериментов по определению робастных нормированных корреляционных матриц при решении задач идентификации статики // Известия Национальной Академии Наук Азербайджана, 2010, том XXX, №3, стр.19-22.
2. Мусаева Н.Ф., Саттарова У.Э., Рзаева Н.Э. Технология мониторинга начала патофизиологических процессов в сердечнососудистой системе // Известия Национальной Академии Наук Азербайджана, 2011, том XXXI, №6, стр. 162-167.
3. Musaeva N.F., Aliev E.R., Sattarova U.E., Rzayeva N.E. Correlation matrices in problems of identification of seismic stability and technical condition of high-rise buildings and building structures / IV International Conference "Problems of Cybernetics and Informatics", vol.II, Baku, 2012, p.116-123.
4. Aliev T.A., Alizada T.A., Rzayeva N.E. Noise control of heart by means of a smartphone. Lambert Academic Publishing, 2012, 156 p.
5. Pashayev F.H., Pakdel M., Rzayeva N.E. A wavelet Based Denoising of Seismic Signals / «Информатика и Системные Науки ICH-2013», Материалы IV Всеукраинской научно-практической конференции, Полтава, 2013, p. 310-313.
6. Aliev T.A., Rzayeva N.E. Noise analysis of heart and lungs sounds by means of laptops and smartphones // Transactions of Azerbaijan National Academy of Sciences, 2014, vol. XXXIV, №3, p. 25-36.



7. Aliev T.A., Musaeva N.F., Sattarova U.E., Rzayeva N.E. Development of the algorithms of correction of correlation matrices // Восточно-Европейский журнал передовых технологий, 2015, 6/4 (78), стр. 65-82.
8. Рзаева Н.Э. Робастная технология мониторинга изменения состояния сердца при помощи ноутбуков и смартфонов // Известия Национальной Академии Наук Азербайджана, 2015, том XXXV, №6, стр. 114-128.
9. Rzayeva N.E. Robust correlation technology for online monitoring of changes in the condition of the heart by means of laptops and smartphone // Восточно-Европейский журнал передовых технологий, 2015, 6/9 (78), стр. 28-36.
10. Aliev T.A., Musaeva N.F., Sattarova U.E., Rzayeva N.E. Robust technology for forming correlation matrices of mathematical models of the dynamics of control objects // Reports of National Academy of Sciences of Azerbaijan, 2015, № 3, p. 17-21.
11. Aliev T.A., Musaeva N.F., Sattarova U.E., Rzayeva N.E. Noise technology for correcting the normalization error of correlation functions // Scholars' Press. Telman Aliev. Noise Monitoring of accidents, 2016, p.45-66.
12. Алиев Т.А., Рзаева Н.Э. Робастные технологии определения оценок корреляционных функций случайных зашумленных сигналов // Автоматизированные технологии и производства, 2016, №1, стр. 41-49.
13. Алиев Т.А., Рзаева Н.Э. Способ мониторинга деятельности сердечнососудистой системы и дыхательных путей. Евразийский патент №024345. Дата выдачи: 30.09.2016.
14. Рзаева Н.Э. Система noise мониторинга изменений в сердце и результаты экспериментов на ноутбуке / «Elektron tibbin multidissiplinar problemləri» I respublika elmi-praktiki konfrans, 24 may 2016 il, Bakı.
15. Aliev T.A., Rzayeva N.E., Sattarova U.E.. Robust correlation technology for online monitoring of changes in the state of the heart by means of laptops and smartphones // Biomedical signal processing and control. 2017, vol.31, p. 44-51.

**Личный вклад соискателя в трудах, опубликованных в соавторстве:**

[1] – Разработка алгоритмов и программных средств, проведение вычислительных экспериментов.

[2], [4], [6], [13]-[15] – Анализ существующих систем мониторинга сердца, постановка задачи, разработка технологий и алгоритмов мониторинга начала патофизиологических процессов, разработка программных средств и проведение вычислительных экспериментов

[3], [7], [10]-[12] – Разработка технологий устранения погрешностей корреляционных функций, проведение вычислительных экспериментов.

[5] – Разработка программных средств и проведение вычислительных экспериментов по устранению влияния помехи на зашумленный сигнал.

## Rzayeva Nərmin Eldar qızı

### Ürək küyünün robast noise analiz texnologiyasının tətbiqi ilə ürək fəaliyyətinin monitorinqi sistemi

#### Xülasə

Dissertasiya işində robast noise texnologiyaların və alqoritmlərin tətbiqi ilə ürək fəaliyyətində baş verən dəyişikliklərin yaradılmasının gizli periodunu aşkar etməyə imkan verən mobil sistemin işlənməsi təklif olunur. Sistem noutbuklar əsasında qurulub, xəstəxana və laboratoriyadan kənar şəraitlərdə ürəyin monitorinqini aparmağa imkan verir. Məlumdur ki, xəstəliyə xas olan əlamətlər özlərini aydın şəkildə birüzə verdikdə, xəstəliyin müalicəsi çətinləşir və bir çox hallarda ağır fəsadlara gətirib çıxarır. Bununla belə, ürək-damar sistemindəki dəyişikliklərin gizli dövrünün aşkar olunması məsələsinin vacibliyi şübhə yaratmır. İşdə ürək səsinin korrelyasiya funksiyasının normallaşma proseduru zamanı ortaya çıxan xətalərin aradan qaldırılması texnologiyası təklif edilib. Bundan başqa ürək səsinin küyünün dispersiyası və faydalı signal ilə küyün rele qarşılıqlı korrelyasiya funksiyasının hesablama texnologiyaları təklif olunub. Nəticədə alınan robast normallaşmış korrelyasiya funksiyalardan və küyün xarakteristikalarından ibarət əmsalların qiymətləri ürək fəaliyyətindəki dəyişikliklərin gizli dövrünün monitorinqi zamanı informativ əlamətlər kimi istifadə olunub.

**Rzayeva Narmin Eldar**

**A system for monitoring of heart activity with the use of the  
technology of robust noise analysis of the heart sounds**

**Abstract**

In dissertation development of mobile system of origin the hidden stage of changes in heart activity on the base of robust noise technologies and algorithms is offered. System was developed on the base of laptop and is able to perform monitoring of heart out of hospitals and labs. It is well known when the symptoms of heart diseases appears visibly the treatment becomes complicated and in many cases bad consequences take place. That is why the relevance of the problem of origin the hidden stage of changes in the heart is obvious. Tecnology of eliminating the errors of the proceure of normalization of the estimates of auto correlation functions is offered. Also the technologies for calculating the estimates of heart sound variance and cross correlation function between useful signal and noise are offered. As result the coefficients consist of estimatates of robust normalized correlation functions and characteristics of noise of heart sounds were used as informative attributes for monitoring of heart activity.

---

---

Подписано к печати 05.05.2017

Тираж 100.Заказ 522

---

---

Участок лодготовки информационных  
материалов ИСУ НАН Азербайджана

Баку, ул. Б. Вагабзаде, 9

Тел(+012) 539.48.07