

# Физика волновых процессов и радиотехнические системы

УДК 615.471  
DOI 10.18469/1810-3189.2019.22.4.175-179

Дата поступления: 08.11.2019  
Дата принятия: 04.12.2019

## Статистический метод анализа электрокардиосигналов в задаче обнаружения аритмий

Т.Ф. Щербакова, Э.Р. Галимзянов, Р.Р. Марданов

Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева - КАИ  
420111, Российская Федерация, г. Казань  
ул. К. Маркса, 10

Представлен алгоритм определения и различения различных видов аритмий, основанный на статистическом методе анализа электрокардиосигналов. Используются реализации сигналов таких аритмий, как бигеминия, тригеминия, пароксизмальная наджелудочковая тахикардия, а также электрокардиосигналы с нормальным сердечным ритмом («норма»). Найдены теоретические вероятности принятия ошибочного решения. Исследована работа предложенного алгоритма, и вычислены аналогичные экспериментальные вероятности принятия ошибочного решения. Предложены пути развития проделанной работы.

*Ключевые слова:* электрокардиосигнал, алгоритм обнаружения аритмий, статистический метод анализа, плотности распределения вероятностей, вероятность принятия ошибочного решения.

Целью данной работы является создание, экспериментальное исследование и, соответственно, реализация алгоритма определения и различения различных видов аритмий с помощью использования статистических методов анализа и автоматизированных средств обработки электрокардиосигнала (ЭКС). Актуальность данной задачи обусловлена высокой смертностью из-за сердечно-сосудистых заболеваний и увеличением мощности современных вычислительных систем, позволяющих автоматизировать определение отклонений от нормального сердечного ритма (НСР).

В данной работе были использованы реализации ЭКС таких аритмий, как бигеминия, тригеминия и пароксизмальная наджелудочковая тахикардия (ПНТ), а также сигналы с НСР [1]. Была решена задача по созданию алгоритма, позволяющего определять наличие вышеуказанных аритмий и различать их между собой. Для достижения этой цели были использованы результаты работы [2]. А именно был использован коэффициент  $K$ , предложенный в качестве критерия выявления аритмии:

$$K = \frac{\sum_{i=f_{гр}+1}^{500} U_i}{\sum_{i=0}^{f_{гр}} U_i}, \quad (1)$$

где знаменатель представляет из себя сумму гармоник низкочастотной (НЧ) части амплитудного спектра ЭКС, а числитель – сумму гармоник высокочастотной (ВЧ) части спектра. А  $f_{гр}$  является граничной частотой, разделяющей НЧ и ВЧ части.

Помимо этого были использованы плотности распределения вероятностей данного коэффициента для исследованных сигналов аритмий и «нормы». Но надо отметить, что результаты работы [2] были дополнены и подкорректированы. Во-первых, в связи с оценкой качества сигналов было изменено их количество для каждой аритмии и «нормы». Во-вторых, была рассмотрена еще одна аритмия – пароксизмальная наджелудочковая тахикардия. И наконец, в-третьих, было найдено другое оптимальное значение граничной частоты:  $f_{гр} = 13$  Гц. Все это привело к изменению плотностей распределения вероятностей коэффициента  $K$  для исследованных ЭКС аритмий и «нормы» (рис. 1) и уточнению пороговых значений.

На этом рисунке, где цифрой 4 обозначена плотность распределения вероятностей величины  $K$  для тригеминии, цифрой 3 – для ПНТ, цифрой 2 – для бигеминии, цифрой 1 – для «нормы», можно наглядно увидеть пороги принятия решения: они определяются в тех местах, где пересекаются соседние плотности распределения вероятностей. Таким образом, получаем три пороговых значения:  $K_1$  – между «нормой» и бигеминией,  $K_2$  – между бигеминией и тахикардией,  $K_3$  – между та-

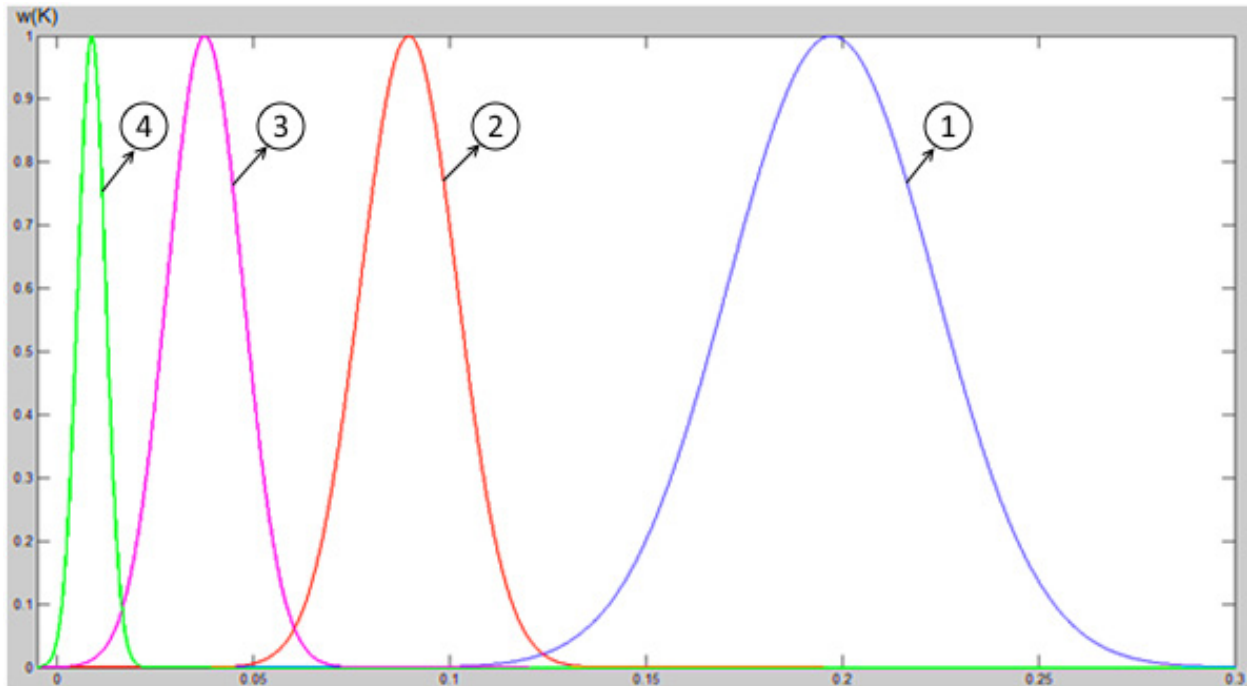


Рис. 1. Плотности распределения вероятностей случайной величины  $K$

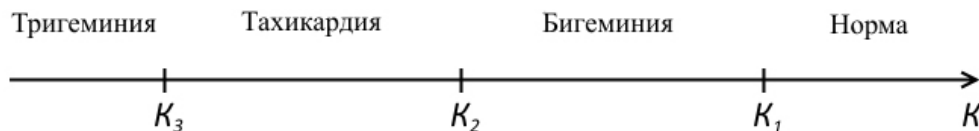


Рис. 2. Интервалы аритмий и нормы

Таблица 1

Пороги принятия решения

$K_1$	$K_2$	$K_3$
0,1239	0,0606	0,0167

хикардией и тригеминией. Численные значения данных порогов представлены в табл. 1.

На рис. 2 покажем схематичное изображение порогов для облегчения понимания работы алгоритма, который будет представлен далее.

На основе имеющихся результатов был разработан алгоритм, который позволяет обнаруживать наличие аритмий и различать их между собой. Предложенный алгоритм состоит из следующих пунктов:

- Съём ЭКС.
- Нахождение с помощью БПФ амплитудного спектра 9-ти полных кардиоциклов снятого ЭКС.
  - Вычисление для конкретного человека (сигнала) коэффициента  $K_{\text{цел}}$  с помощью формулы (1).
  - Сравнение  $K_{\text{цел}}$  с пороговыми значениями приведенными в табл. 1.
  - Вынесение предварительного заключения.

Представим описанный алгоритм в форме блок-схемы (рис. 3) с учетом следующих обозначений:

$Out$  – предварительное заключение (выходная величина);  $S_0, S_1, S_2, S_3$  – «норма», бигеминия, тахикардия и тригеминия соответственно.

Далее было проведено экспериментальное исследование точности разработанного алгоритма. Для этого была определена вероятность ошибки, возникающей при определении «нормы» и каждой аритмии. При этом вероятностью ошибки, возникающей при определении «нормы» или же конкретной аритмии, будет являться так называемая вероятность «пропуска сигнала», так как с позиции конкретной аритмии выдвижение при ее наличии другого предварительного заключения (например, при наличии тахикардии, выдвижение заключения – бигеминия) будет считаться «пропуском аритмии». Термин «пропуск сигнала» часто используется в математической статистике и применительно к данной работе вероятность данного «пропуска» будет определяться по следующей формуле:

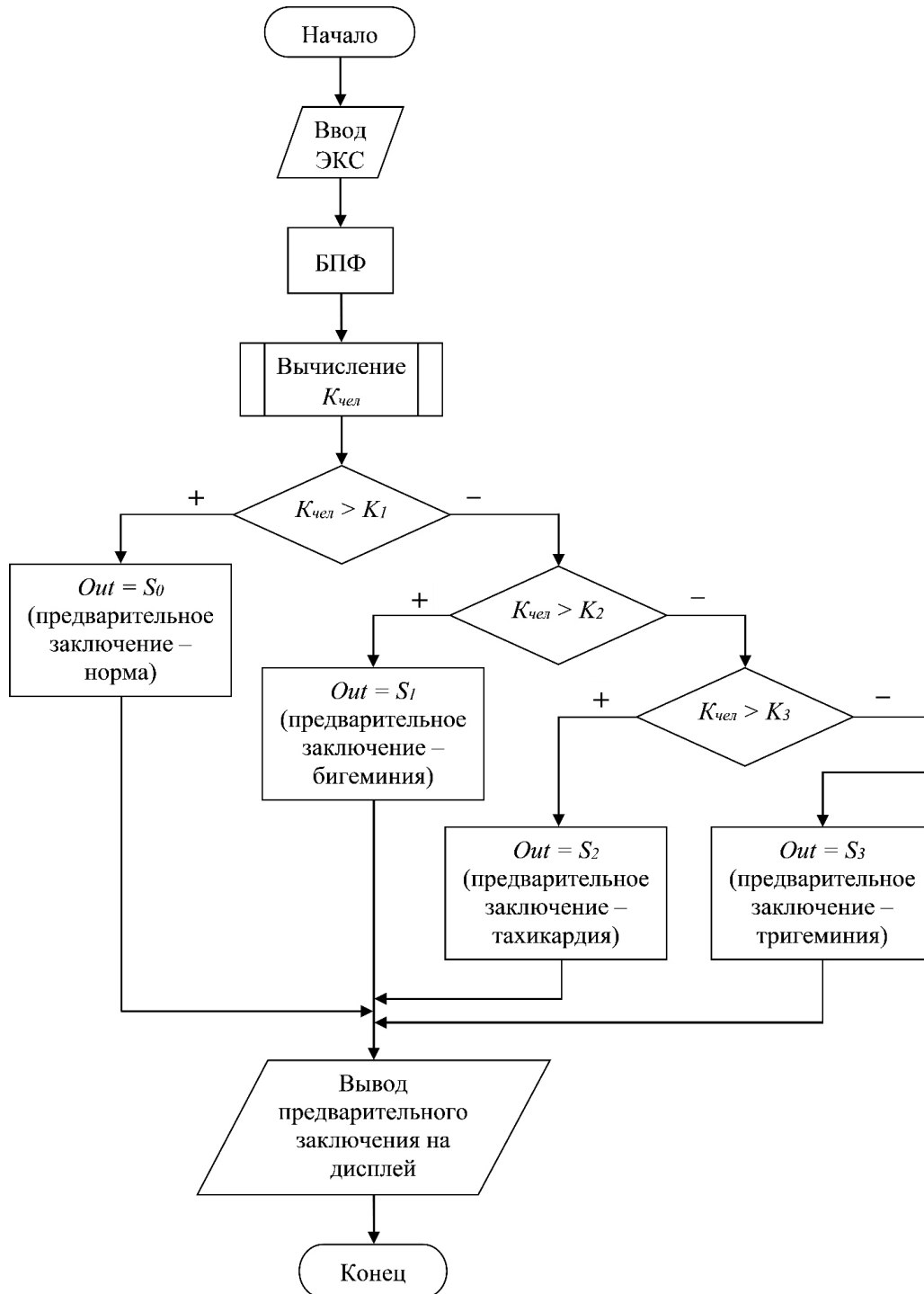


Рис. 3. Блок-схема алгоритма обнаружения и различения аритмий

$$P_{\text{ош},i} = \int_{K_{i+1}-3\sigma_i}^{K_{i+1}} w(K|S_i)dK + \int_{K_i}^{K_i+3\sigma_i} w(K|S_i)dK, \quad (2)$$

где  $p_{\text{ош},i}$  – вероятность ошибки, возникающей при определении нормы ( $i=0$ ), бигеминии ( $i=1$ ), тахикардии ( $i=2$ ) или тригеминии ( $i=3$ );  $w(K|S_i)$  – плотность распределения вероятностей коэффициента  $K$  для приведенных аритмий или нормы (зависит от индекса  $i$ );  $K_i$  – пороги, приведенные

в табл. 1;  $\sigma_i$  – СКО соответствующих плотностей распределения вероятностей.

Формула (2) применима для нахождения вероятности ошибки при определении бигеминии ( $i=1$ ) и тахикардии ( $i=2$ ), а для тригеминии ( $i=3$ ) и нормы ( $i=0$ ) отсутствует первая или вторая составляющая формулы соответственно. То есть для тригеминии формула преобразуется в следующий вид:

Таблица 2

Вероятности ошибок, возникающих при определении нормы, бигеминии, тахикардии и тригеминии

$P_{\text{ош.0}}, \%$	$P_{\text{ош.1}}, \%$	$P_{\text{ош.2}}, \%$	$P_{\text{ош.3}}, \%$
0,2693	1,184	2,352	1,407

Таблица 3

Экспериментальные значения вероятностей принятия ошибочного решения

$P_{\text{ош.эксп.0}}, \%$	$P_{\text{ош.эксп.1}}, \%$	$P_{\text{ош.эксп.2}}, \%$	$P_{\text{ош.эксп.3}}, \%$
0	2,083	4,167	2,174

$$P_{\text{ош.3}} = \int_{K_3}^{K_3+3\sigma_3} w(K | S_3) dK, \quad (3)$$

Для нормы:

$$P_{\text{ош.0}} = \int_{K_1-3\sigma_1}^{K_1} w(K | S_0) dK, \quad (4)$$

Интегралы в формулах фактически представляют из себя площади под конкретными кривыми (рис. 1), зависящими от индекса  $i$  и находящимися в указанных пределах, отнесенные к общей площади тех же кривых плотностей распределения вероятностей коэффициента  $K$ . Необходимость делить на общую площадь возникает из-за того, что мы ранее получили нормированные кривые плотностей распределения вероятностей. Ведь как известно из теории вероятностей площадь под данными кривыми должна равняться единице, а деление на общую площадь как раз обеспечивает это условие.

С учетом вышесказанного и применением средств Matlab были рассчитаны соответствующие вероятности (табл. 2):

Как видно из этих расчетов, наибольшая ошибка возникает при определении тахикардии. То есть вероятность того, что рассчитанный для конкретного человека коэффициент  $K$  попадет за пределы нужного интервала, получается самым высоким для пароксизмальной наджелудочковой тахикардии ( $P_{\text{ош.2}} = 2,352 \%$ ).

В нашей работе использовались 49 реализаций ЭКС «нормы» и 46-48 сигналов остальных аритмий. Сигналы были взяты из базы данных ресурса

PhysioNet [3]. В экспериментальной части исследования согласно алгоритму для каждого из этих сигналов строился амплитудный спектр, с помощью формулы (1) вычислялся коэффициент  $K$ , и проверялось попадание в заданный интервал найденного коэффициента. Далее рассчитывалась вероятность принятия ошибочного решения по результатам экспериментальных исследований как отношение неверно определенных случаев к общему числу случаев. Например, для бигеминии это вероятность составила:

$$P_{\text{ош.эксп.1}} = \frac{1}{48} = 0,02083 = 2,083 \%$$

Таким же образом были найдены вероятности ошибочного принятия решения для остальных аритмий и «нормы». Результаты приведены в табл. 3.

Из сравнения табл. 2 и 3 видно, что вероятность принятия ошибочного решения для каждой аритмии получилась больше для экспериментальных значений, а для «нормы» наблюдается обратная ситуация. Это можно объяснить относительно малым количеством обработанных ЭКС для каждого вида сигнала.

Таким образом, была решена задача обнаружения и различения определенных видов аритмий. Исходя из полученных результатов можно сделать вывод о необходимости расширения базы сигналов с целью уточнения полученных пороговых значений, что, в свою очередь, должно привести к повышению точности обнаружения исследованных аритмий. Так же в качестве дальнейшего развития данной работы предлагается расширение списка различных видов аритмий.

### Список литературы

1. Ардашев А.В. Клиническая аритмология. М.: Медпрактика, 2009. 1220 с.
2. Алгоритм обнаружения аритмий сердца на основе спектрального анализа электрокардиосигнала / Т.Ф. Щербакова [и др.] // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. 2019. № 2. С. 56–60.
3. PTB Diagnostic ECG Database. URL: <https://physionet.org/physiobank/database/ptbdb/> (дата обращения: 10.05.2019).

## References

1. Ardashev A.V. *Clinical Arrhythmology*. Moscow: Medpraktika, 2009, 1220 p. [In Russian].
2. Scherbakova T.F. et al. Detection algorithm of cardiac arrhythmias based on spectral analysis electrocardiosignal. *Vestnik KGTU im. A.N. Tupoleva*, 2019, no. 2, pp. 56–60. [In Russian].
3. PTB Diagnostic ECG Database. URL: <https://physionet.org/physiobank/database/ptbdb/> (accessed: 10.05.2019).

UDC 615.471

DOI 10.18469/1810-3189.2019.22.4.175-179

Received: 08.11.2019

Accepted: 04.12.2019

## Statistical method of electrocardiosignals analysis in arrhythmia detection problem

*T.F. Shcherbakova, E.R. Galimzyanov, R.R. Mardanov*

Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI  
10, K. Marx Street  
Kazan, 420111, Russian Federation

The algorithm of definition and distinction of different types of arrhythmias is presented. It is based on the statistical method of the analysis of electrocardiosignals. Realizations of signals of such arrhythmias as bigemina, trigemina, paroxysmal supraventricular tachycardia, as well as electrocardiosignals with normal heart rate («norm») were used. The theoretical probabilities of making an erroneous decision are found. The work of the proposed algorithm is researched, and similar experimental probabilities of making an erroneous decision are calculated. Ways of development of the work are offered.

*Keywords:* electrocardiosignal, arrhythmia detection algorithm, statistical method of analysis, probability distribution density, probability of making an erroneous decision.

**Щербакова Татьяна Филипповна**, кандидат технических наук, доцент кафедры радиоэлектронных и телекоммуникационных систем Казанского национального исследовательского технического университета имени А.Н. Туполева - КАИ.

*Область научных интересов:* компьютерная обработка и анализ электрокардиосигналов.

*E-mail:* rts@kai.ru

**Галимзянов Эмиль Рустэмович**, старший преподаватель кафедры радиоэлектронных и телекоммуникационных систем Казанского национального исследовательского технического университета имени А.Н. Туполева - КАИ.

*Область научных интересов:* компьютерная обработка и анализ электрокардиосигналов.

*E-mail:* emil\_kai@bk.ru

**Марданов Разиль Рашитович**, студент направления подготовки 11.04.02 (магистратура) кафедры радиоэлектронных и телекоммуникационных систем Казанского национального исследовательского технического университета имени А.Н. Туполева - КАИ.

*Область научных интересов:* Компьютерная обработка и анализ электрокардиосигналов.

*E-mail:* mardanovrazil@yandex.ru