

# Физика волновых процессов и радиотехнические системы

УДК 615.471  
DOI 10.18469/1810-3189.2019.22.4.180-184

Дата поступления: 08.11.2019  
Дата принятия: 04.12.2019

## Разработка методов и алгоритмов определения аритмий сердца

Т.Ф. Щербакова, С.С. Седов, И.И. Замалеев

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

Представлен алгоритм обнаружения аритмий сердца, основанный на спектральном анализе электрокардиосигнала. Для анализа взяты сигналы бигеминии, тригеминии и пароксизмальной наджелудочковой тахикардии. Введен коэффициент, зависящий от граничной частоты, который отображает различия в спектрах сигналов. Найдена граничная частота, при которой суммарная вероятность ошибки минимальна. Определены пороги принятия решения на найденной граничной частоте.

*Ключевые слова:* электрокардиосигнал, обнаружение аритмий, пороги принятия решения, спектральный анализ, быстрое преобразование Фурье.

В последнее время все большую актуальность приобретает задача автоматизированного обнаружения различных видов аритмий сердца. Это обусловлено двумя факторами. Во-первых, наблюдается рост числа сердечно-сосудистых заболеваний; во-вторых, бурное развитие возможностей вычислительной техники позволяет реализовать даже сложные алгоритмы обработки сигналов без принципиальных трудностей.

Целью нашей работы является синтез алгоритмов позволяющих врачу-кардиологу более точно оценить состояние сердца пациента, а именно алгоритмов обнаружения наличия различного вида аритмий сердца на основе анализа электрокардиосигнала (ЭКС) а также установление факта отсутствия каких-либо аритмий («норма»). Для анализа ЭКС и последующего синтеза алгоритмов мы выбрали сигналы ЭКС в «норме» и сигналы со следующими видами аритмий: бигеминия, тригеминия и пароксизмальная наджелудочковая тахикардия [1].

Если алгоритм должен обнаруживать наличие или отсутствие аритмии, а также различать аритмии по видам, то он должен работать по определенным порогам принятия решений. Следовательно, для достижения поставленной цели возникает задача определения критериев наличия/отсутствия (и различия) аритмий, а также пороговых значений по этим критериям. Для анализа ЭКС мы использовали в данной работе спектральные и статистические методы.

Реализации ЭКС в «норме» и с вышеуказанными видами аритмий выбраны из открытой базы дан-

ных ЭКС PhysioNet [2] (49 сигналов «нормы», по 48 с бигеминией и пароксизмальной наджелудочковой тахикардией и 46 с тригеминией). На основе аппарата БПФ получены спектры этих сигналов и проанализированы соотношения между высокочастотной (ВЧ) и низкочастотной (НЧ) частями спектра [3].

Введем коэффициент  $K$  (1), который представляет собой отношение сумм амплитуд в ВЧ области спектра к НЧ.

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

Значения коэффициента существенным образом зависят от граничной частоты  $f_{гр}$  между ВЧ и НЧ частями спектра. Эта зависимость была получена для анализируемых спектров и представлена на рис. 1.

На рис. 1 представлены 4 группы графиков – зависимости коэффициента  $K$  от  $f_{гр}$  для четырех случаев: «нормы» (синий цвет), бигеминии (красный цвет), тригеминии (зеленый цвет) и пароксизмальной наджелудочковой тахикардии (фиолетовый цвет).

Необходимо определить оптимальную граничную частоту  $f_{гр}$ . Значение этой частоты должно быть таким, при котором значения коэффициента  $K$  наиболее различаются друг от друга для вышеприведенных случаев. Для этого будем вычислять

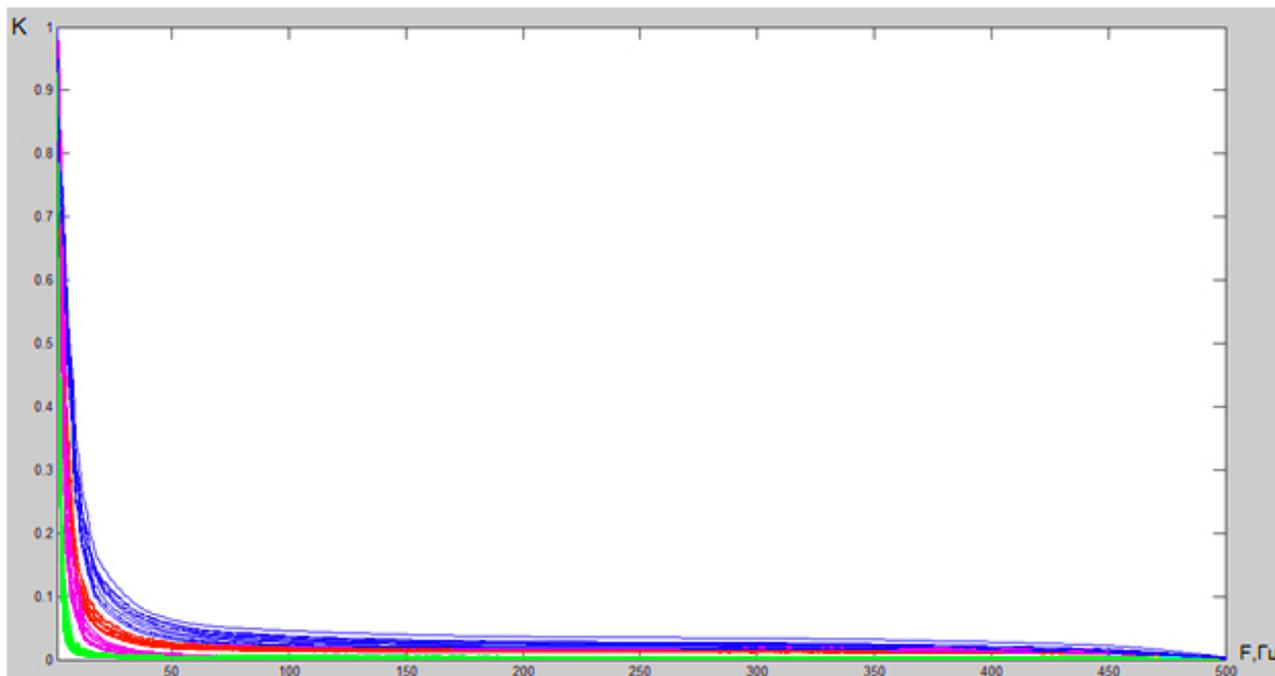


Рис. 1. Зависимость коэффициента  $K$  от  $f_{гр}$

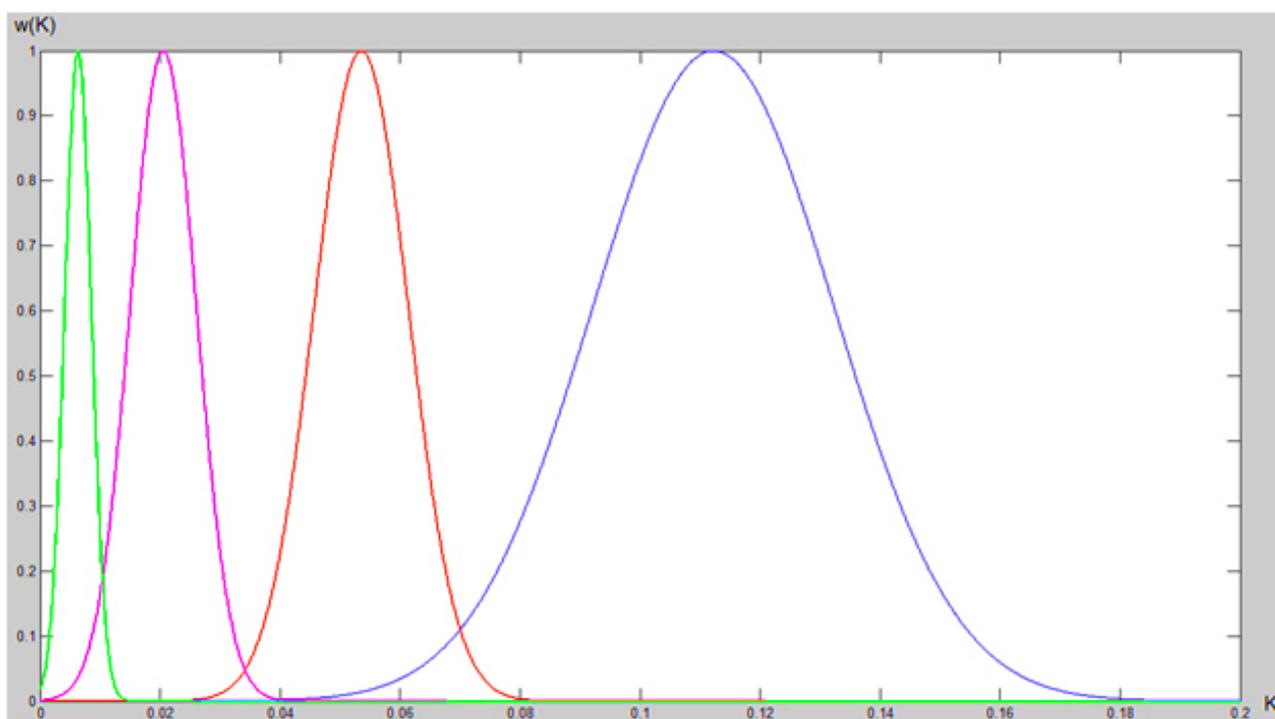


Рис. 2. Аппроксимация гистограмм распределений коэффициента  $K$

значения  $K$  при каждом  $f_{гр}$  от 10 до 70 Гц для всех 4 случаев и строить гистограммы распределений. С помощью программы «Matlab» определим по гистограммам математическое ожидание и дисперсию распределений коэффициентов  $K$  для нормы и каждой из аритмий. Затем по полученным данным строим гауссовские распределения (рис. 2), которые аппроксимируют полученные гистограммы.

В качестве числового критерия оптимальной граничной частоты возьмем минимум суммарной вероятности принятия ошибочных решений алгоритмом:

$$P_{\Sigma} = P(S_0)P(\hat{S}_1 | S_0) + P(S_1)P(\hat{S}_0 | S_1), \quad (2)$$

где  $P(S_0)$  и  $P(S_1)$  – доли количества случаев среди общего количества исследованных случаев ( $P(S_0) = P(S_1) \approx 0,5$ , так как мы взяли примерно

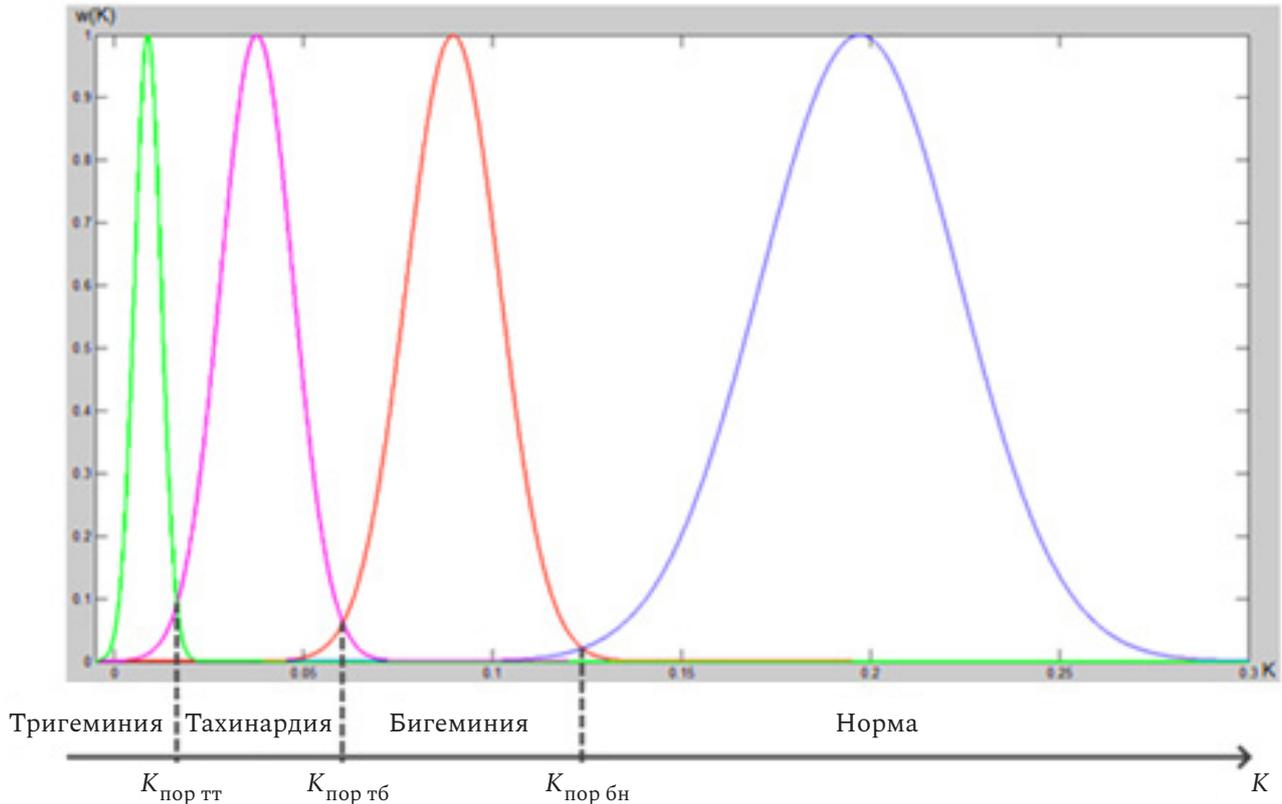


Рис. 3. Аппроксимация гистограмм распределений коэффициента  $K$  при  $f_{гр} = 13$  Гц

одинаковые количества сигналов различных аритмий и нормы);  $P(\hat{S}_1 | S_0)$  и  $P(\hat{S}_0 | S_1)$  – вероятности принятия решения  $S_j$  тогда как на самом деле передавался сигнал  $S_i$ ;  $j \neq i$ . Графически эти вероятности представляют собой площади под пересечениями кривых (рис. 2).

Для многопороговой системы будем находить среднюю суммарную ошибку для всех пересечений:

$$p_{\Sigma} = \frac{p_{\Sigma_{тт}} + p_{\Sigma_{тб}} + p_{\Sigma_{бн}}}{3}, \quad (3)$$

$p_{\Sigma_{тт}}$  – вероятность ошибки под пересечением между тригеминией и пароксизмальной наджелудочковой тахикардией;  $p_{\Sigma_{тб}}$  – вероятность ошибки под пересечением между пароксизмальной наджелудочковой тахикардией и бигеминией;  $p_{\Sigma_{бн}}$  – вероятность ошибки под пересечением между бигеминией и нормой.

С помощью программы Matlab была найдена частота  $f_{гр} = 13$  Гц, при которой наблюдался минимум суммарной вероятности принятия ошибочных решений (2):  $p_{\Sigma_{тт}} = 0,00023854$ ,  $p_{\Sigma_{тб}} = 0,00024949$ ,  $p_{\Sigma_{бн}} = 0,00013062$ , а средняя суммарная вероятность составила  $p_{\Sigma} = 0,00020622$ .

Определены пороги принятия решений при оптимальной  $f_{гр} = 13$  Гц. Они показаны на рис. 3, а их значения в таблице.

Блок-схема определения порогов для различных видов аритмий и «нормы» показана на рис. 4.

Таблица

Пороги  $K_{пор}$  при  $f_{гр} = 13$  Гц

Пересечения	$K_{пор}$
Бигеминия – «Норма»	0,1239
Тахикардия - Бигеминия	0,0606
Тригеминия - Тахикардия	0,0167

В результате проведенных исследований предложен алгоритм обнаружения некоторых видов аритмий сердца, основанный на спектральном анализе ЭКС. Предложен коэффициент, численно отображающий различия в спектрах сигналов при исследуемых видах аритмий и «норме». Найдено оптимальное значение граничной частоты, при котором значения предложенного коэффициента статистически наиболее различаются. В результате вероятность принятия ошибочного решения алгоритм при этом значении граничной частоты становится минимальной. По построенным гистограммам и их аппроксимациям вычислены пороги принятия решения  $K_{пор}$  о наличии исследуемых видов аритмий или их отсутствии.

Развитие данной работы представляется в двух направлениях. Во-первых, мы планируем увеличить объем обрабатываемых данных (случаев ЭКС). Это даст возможность уточнить значения полученных порогов. Во-вторых, будем увеличивать количество анализируемых аритмий сердца.

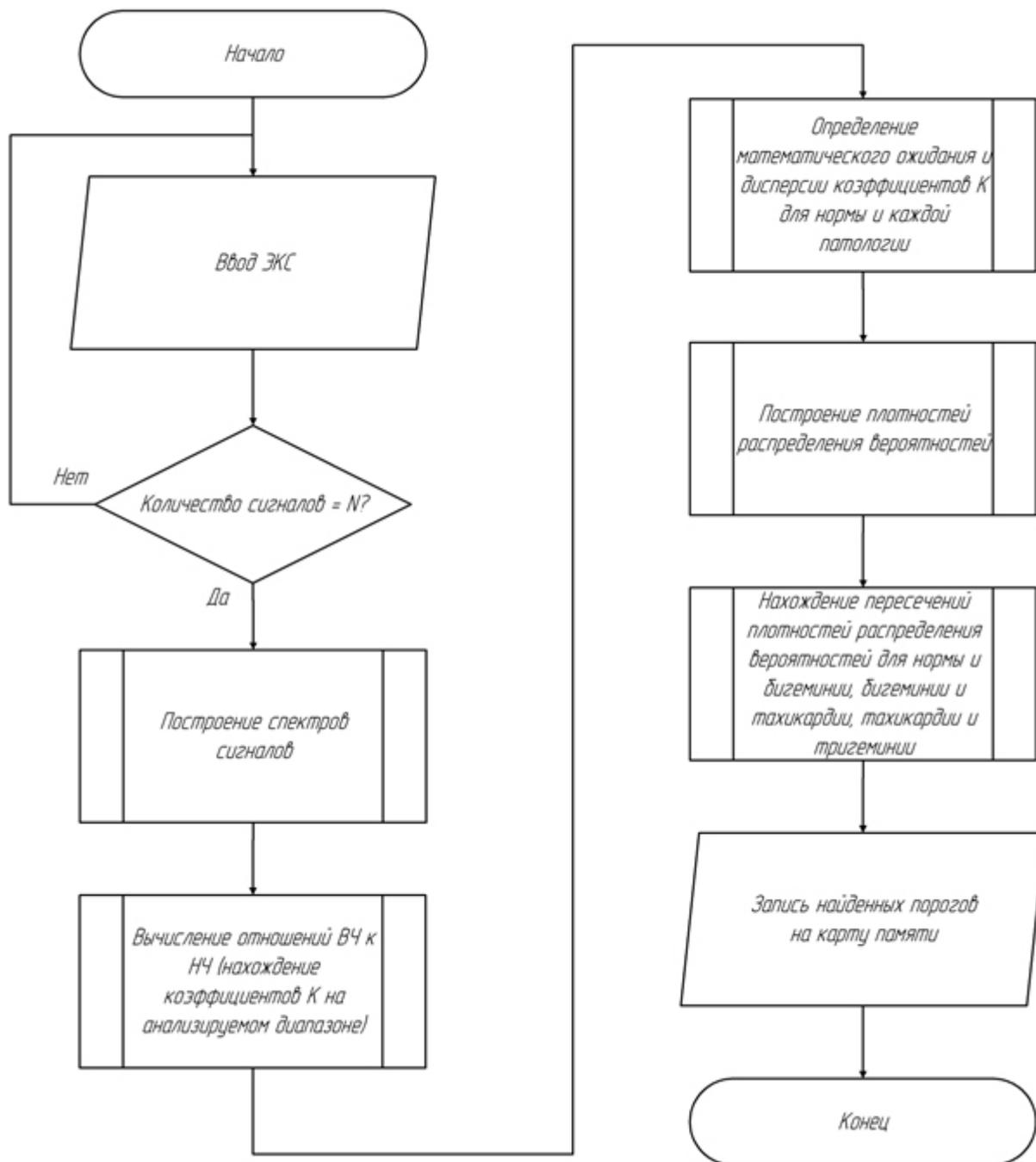


Рис. 4. Блок-схема алгоритма определения порогов аритмий сердца

### Список литературы

1. Ардашев А.В. Клиническая аритмология. М.: Медпрактика, 2009. 1220 с.
2. PTB Diagnostic ECG Database. URL: <https://physionet.org/physiobank/database/ptbdb/> (дата обращения: 22.01.2019).
3. Спектральный анализ электрокардиосигнала с целью обнаружения желудочковых аритмий / Т.Ф. Шербакова [и др.] // Вестник КГТУ им А.Н. Туполева. 2018. № 3. С. 36–42.

### References

1. Ardashev A.V. *Clinical Arrhythmology*. Moscow: Medpraktika, 2009, 1220 p. [In Russian].
2. PTB Diagnostic ECG Database. URL: <https://physionet.org/physiobank/database/ptbdb/> (accessed: 22.01.2019).
3. Scherbakova T.F. et al. Spectral analysis electrocardiosignal to detect ventricular arrhythmias. *Vestnik KGTU im A.N. Tupoleva*, 2018, no. 3, pp. 36–42. [In Russian].

## Development of methods and algorithms for determining cardiac arrhythmias

*T.F. Sherbakova, S.S. Sedov, I.I. Zamaleev*

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

An algorithm for detecting cardiac arrhythmias which based on spectral analysis of the electrocardiosignal is presented. Signals of bigeminy, trigeminy and paroxysmal supraventricular tachycardia were taken for analysis. A coefficient depending on the boundary frequency which displays the differences in the signal spectra is introduced. The boundary frequency at which the total error probability is minimal is found. The thresholds of decision-making at the found boundary frequency are determined.

*Keywords:* electrocardiosignal, arrhythmia detection, decision thresholds, spectral analysis, fast Fourier transform.

---

**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

**Седов Станислав Сергеевич**, 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:* s.sedov@gmail.com

**Замалеев Ильнур Ирекович**, 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:* irek199707@mail.ru