

В. Р. Цибульский, О. И. Сергейчик, А. Ю. Рычков

**Предварительная обработка
кардиологических временных рядов ЧСС
при помощи фильтров Чебышева**

Рассмотрены особенности применения фильтров Чебышева при предварительной обработке кардиологических временных рядов на основе частоты сердечных сокращений. Применение фильтров этого вида даст более достоверную картину указанной спектральной плотности временного ряда. Приведенные вычисления в сравнении с известными работами в России и за рубежом позволяют рекомендовать фильтры Чебышева II рода, задавая пульсации на условие 30–40 дБ и порядок $n = 4$.

Мы уже рассматривали особенности обработки кардиологических временных рядов (КВР) физиологических параметров, таких как электрокардиограмма, артериальное давление и некоторые другие. Особый интерес представляют ряды на основе частоты сердечных сокращений (ЧСС). Этот показатель не только используется врачами для оценки состояния человека при авариях, катастрофах, операциях, но и позволяет выявить некоторые функциональные отклонения в его здоровье в динамике при тренировках и в экстремальных ситуациях. Наконец, нарушения регуляции кровообращения непосредственно влияют на возникновение сердечно-сосудистых заболеваний типа артериальной гипертонии и ишемической болезни сердца. Одним из простых и информативных методов исследования этих явлений служит оценка variability ритма сердца (ВРС) на основе временных рядов типа ЧСС. Достаточно точный и уверенный анализ таких рядов является важной задачей, особенно при использовании современных компьютерных средств.

Рассмотрим типовую ЧСС, полученную суточным мониторингом больного артериальной гипертонией II степени.

После удаления линейного тренда и среднего значения (центрирования) ряд имеет следующий вид (рис. 1).

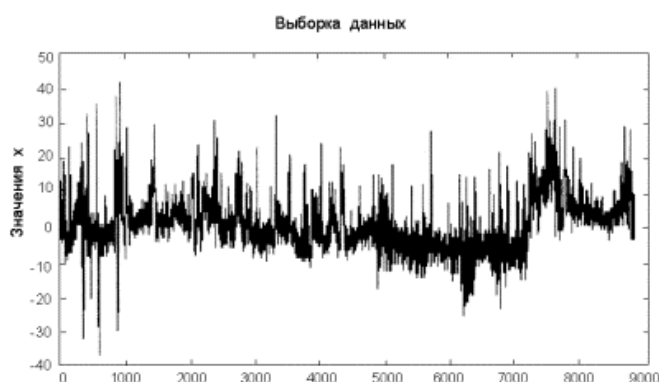


Рис. 1. Временной ряд ЧСС больного артериальной гипертонией II степени

Приведем аппроксимацию удаленного тренда, ее выражение

$$U_0(t) = 70.0049 \cdot t - 0.000203136,$$

и типовую статистику этого ряда:

Количество точек	8706
Минимальное значение	-36.884003
Максимальное значение	40.182422
Диапазон	77.066425
Среднее значение	0.000000
Стандартное отклонение (несмещенная оценка)	7.355774
Стандартное отклонение (центрированная оценка)	7.355352
Медиана	-0.853431
Момент порядка 1	0.000000
Момент порядка 2	54.101201
Момент порядка 3	304.580680
Момент порядка 4	14189.887949
Момент порядка 5	184343.301988
Средний квадрат	54.101201
Удельная энтропия	27.050601

На рис. 2 представлен амплитудный спектр ряда, полученный методом Фурье. Вид спектра красноречиво говорит о достаточно большом содержании шумов, в то время как максимально возможная частота полученного сигнала $f_{\max} = 1/\Delta t$, где Δt — интервал опроса, равный 10 сек в мониторах типа системы «Кардиотехника» («Инкарт», С.-Петербург). Однако на практике принимают за частоту среза (F_p) (5–10) f_{\max} [1, 9].

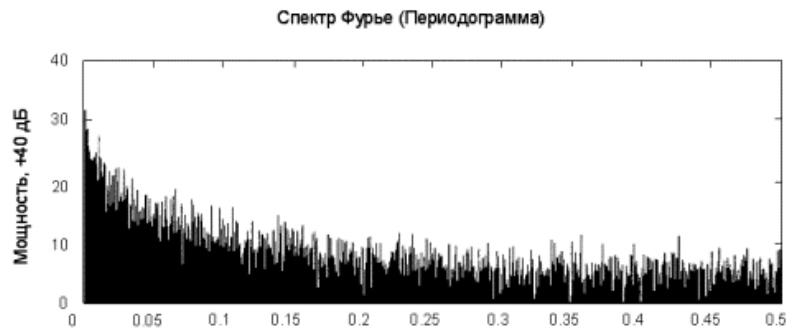


Рис. 2. Спектральные характеристики ЧСС больного артериальной гипертонией II степени

Кроме того, имеет место несходимость спектрального ряда, т. е. «методические» шумы. Все это затрудняет анализ временного ряда и диагностику функциональных отклонений в динамике.

Такие трудности в обработке физиологических и других сигналов устраняются использованием цифровых фильтров [1].

На точность спектральных исследований влияют и некоторые естественные причины [8]. Например, акт глотания вызывает изменение баланса вегетативной регуляции, в результате увеличивается мощность низкочастотной части спектра, искажая его естественный вид [7]. Частота сердечных сокращений изменяется даже при обычном дыхании [3]. Вариабельность же, вызванная или являющаяся показателем заболевания сердца, таким образом маскируется, что приводит к неточности и неоднозначности диагноза.

Известен ряд методов исключения мешающих факторов при оценке ВРС через ЧСС [10]. В данной статье предполагается использовать предварительную фильтрацию временного ряда типа ЧСС.

Мы уже отмечали [5], что перед спектральным анализом КВР рекомендуется фильтрация на частоте среза, равной f_{\max} . Проведем выбор параметров фильтра Чебышева для обработки кардиологического временного ряда на основе ЧСС. Если необходимо, как в нашем примере, исключить шумы, т. е. более высокую часть спектра, чем f_{\max} , то следует использовать фильтр Чебышева II рода. В программной системе Matlab 6.0 это вычислительный алгоритм [4, 6]:

$$[r, p, k] = \text{cheb2ap}(n, R_p)$$

Для проведения вычислительного эксперимента необходимо выбрать частоту среза F_p , допустимые пульсации R_p и порядок фильтра n .

Обычно в фильтрах Чебышева II рода $n > 5$ не рекомендуется [4, 6]. Примем $n = 4$. Частота среза определяется монитором, при помощи которого получены данные. В нашем случае, учитывая вышесказанное, за частоту среза можно принять величину $F_p = 0,125$ Гц (т. е. $F_p = f_{\max} \cdot 2,5$).

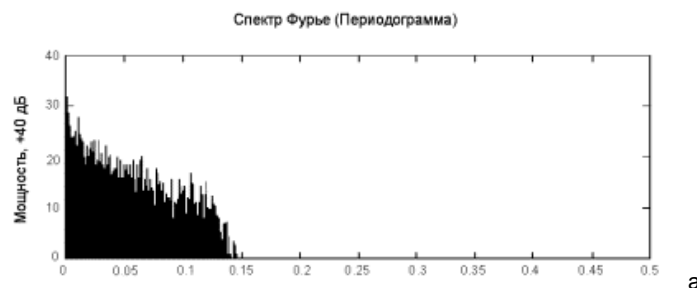
Остается выбрать допустимые пульсации R_p . Поскольку этот параметр определяет качество фильтрации, то оптимальный выбор будет означать минимум ошибки при анализе временного ряда ЧСС.

Выберем данный параметр методом вычислительного эксперимента, сравнивая результаты, т. е. огибающую амплитудно-частотные характеристики (АЧХ), с известными аналогичными результатами, полученными другими методами. Например, В. М. Хаютин с соавт. [8], исключив влияние глотательных движений на спектр ЧСС, получили довольно чистую и достоверно огибающую АЧХ. Профессор центра сердечно-сосудистых исследований А. Maliani [10] в своей лекции по интерпретации спектральных компонентов ВРС демонстрировал АЧХ временных рядов ЧСС. Наконец, в рекомендациях Рабочей группы Европейского кардиологического общества и Северо-Американского общества стимуляции и электрофизиологии [3] приведены аналогичные данные по АЧХ ЧСС.

Используя вышеприведенный временной ряд ЧСС, полученный суточным мониторингом больного артериальной гипертонией II степени, получим АЧХ для $R_p = 2, 10, 20, 30, 40$ (рис. 3).

Сравнительный анализ с вышеуказанной базой [3, 8, 10] говорит о том, что наиболее оптимальными являются значения $R_p = 30, 40$.

Таким образом, в практике предварительной обработки кардиологических временных рядов ЧСС следует рекомендовать использовать фильтры низких частот Чебышева II рода с параметрами $n = 4, F_p = 0,125$ Гц, $R_p = 30, 40$ (рис. 4).



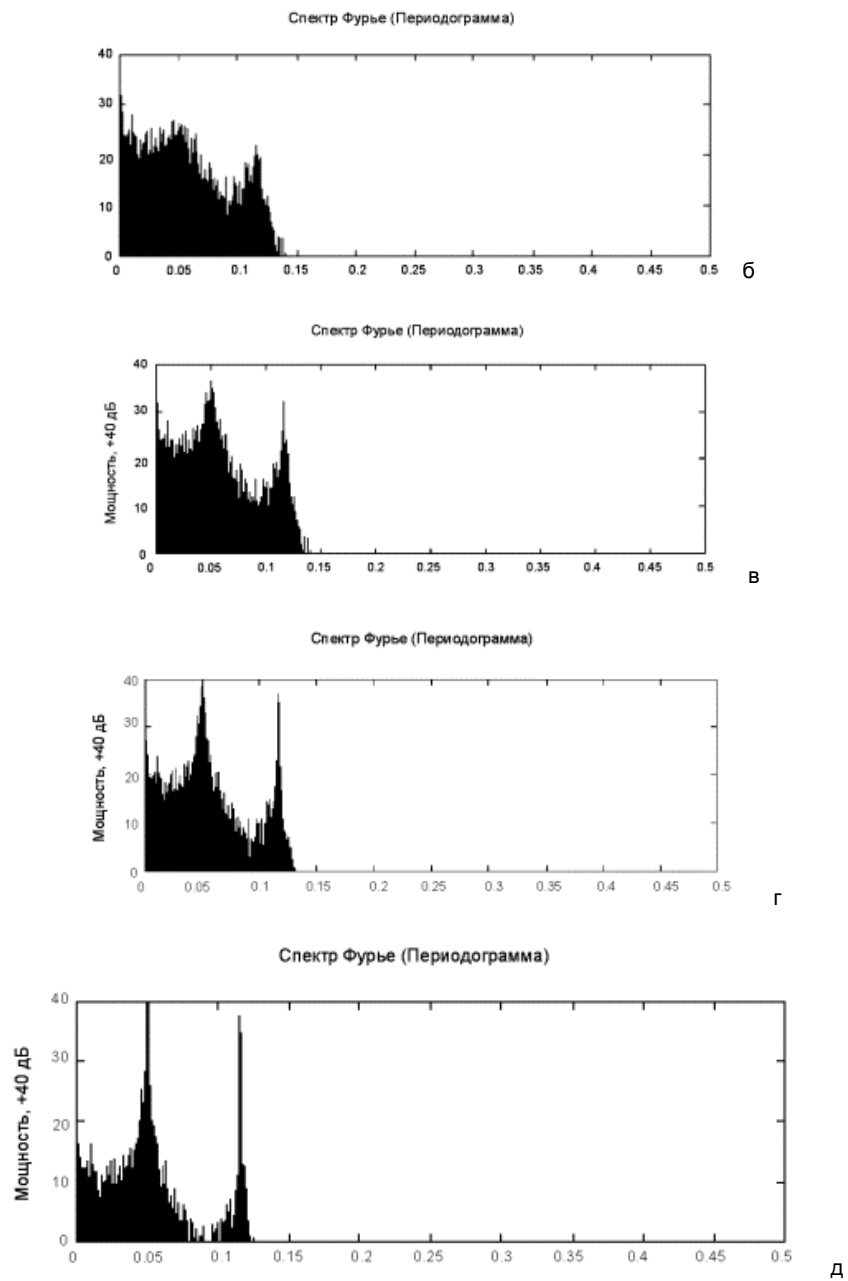


Рис. 3 (начало). АЧХ для различных R_p :
а — $R_p = 2$; б — $R_p = 10$; в — $R_p = 20$; г — $R_p = 30$
д — $R_p = 40$

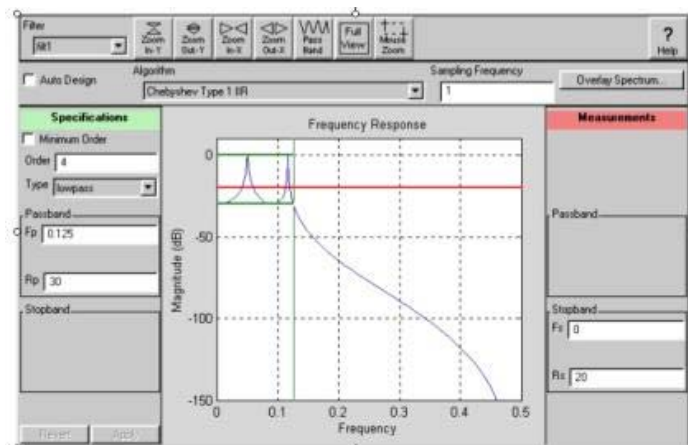


Рис. 4. Фильтр Чебышева II рода с параметрами $n = 4$, $F_p = 0,125$ Гц, $R_p = 30$

ЛИТЕРАТУРА

1. Ананченко В. Н., Литвин А. В., Литвин А. А. Компьютерный анализ физиологических сигналов, записанных на бумажном носителе // Вестн. Донского государственного технического ун-та. 2001. Т. 1, № 1 (7). С. 112–118.
2. Баевский Р. М., Иванов Г. Г., Рябыкина Г. В. Современное состояние исследований по вариабельности сердечного ритма в России // Вестн. аритмологии. 1999. № 14. С. 71–75.
3. *Вариабельность* сердечного ритма. Рекомендации. Стандарты измерения, физиологической интерпретации и клинического исследования. Рабочая группа Европейского кардиологического общества и Северо-Американского общества стимуляции и электрофизиологии // Вестн. аритмологии. 1999. № 11. С. 53–78.
4. Дьяконов В., Абраменкова И. Matlab. Обработка сигналов и изображений. Специальный справочник. СПб.: Питер, 2002. 608 с.
5. Савельева Н. Ю., Жержова А. Ю., Сергейчик О. И., Васильева О. П. Спектральный анализ суточного мониторирования артериального давления // Вестн. кибернетики. Тюмень: Изд-во ИПОС СО РАН, 2004. Вып. 3. С. 12–26.
6. Сергеенко А. В. Цифровая обработка сигналов. СПб.: Питер, 2003. 604 с.
7. Соколов С. Ф., Малкина Т. А. Клиническое значение оценки вариабельности ритма сердца // Сердце. М.: ВНОК, 2002. Т. 1, № 2. С. 72–75.
8. Хакотин В. М., Бекбосынова М. С., Лушкова Е. В. Тахикардия при глотании и спектральный анализ колебаний ЧСС // Бюл. экспериментальной биологии и медицины. 1999. Т. 127, № 6. С. 620–624.
9. Хемминг Р. В. Цифровые фильтры / Пер. с англ. В. Н. Лисина; Ред. пер. О. А. Потапова. М.: Недра, 1987. 221 с.
10. Maliani A. Физиологическая интерпретация спектральных компонентов вариабельности сердечного ритма (HRV). Лекция // Вестн. аритмологии. 1998. № 9. С. 47–56.

V. R. Tsibulsky, O. I. Sergejchik, A. Yu. Rychkov

PRELIMINARY PROCESSING OF CARDIOLOGICAL TIME SERIES ON THE BASIS OF HEARTBEAT FREQUENCY USING TCHEBYSHEV FILTERS

The article considers particulars of applying Tchebyshev filters under preliminary processing of cardiological time series basing on heartbeat frequency. Application of such filters could give a more reliable picture of spectral density of the given time series. The quoted computations as well as correlation with the investigations famous in Russia and abroad allow to recommend Tchebyshev filters of the IInd type, setting pulsations to 30–40 db, and the order of $n = 4$.