

Copyright © 2014 by Academic Publishing House *Researcher*

Published in the Russian Federation  
European Journal of Medicine  
Has been issued since 2013.

ISSN: 2308-6513

E-ISSN: 2310-3434

Vol. 4, No. 2, pp. 65-71, 2014

DOI: 10.13187/issn.2308-6513

[www.ejournal5.com](http://www.ejournal5.com)

UDC 004.93 + 616.12-008.31

### Clustering of the Parameters of Rhythmographic Analysis of Man's Electrocardiogram

<sup>1</sup>Ekaterina A. Filippova<sup>2</sup>Alexander V. Korobeynikov<sup>3</sup>Denis V. Lozhkarev

<sup>1</sup>Izhevsk State Technical University named after MT Kalashnikov, Russian Federation  
E-mail: katty.filip @ gmail.com

<sup>2</sup>Kamsky Institute of Humanities and engineering technologies, Russian Federation  
PhD, Associate Professor

<sup>3</sup>Izhevsk State Technical University named after MT Kalashnikov, Russian Federation

**Abstract.** The article considers the clustering of the parameters of man's heart rate variability. The technique of parameters calculation and diagrams of rhythmographic analysis construction are presented. The algorithm of conceptual clustering Cobweb, modified for quantitative data, is used for parameters clustering. The results of the experiments prove the efficiency of the division of the learning range of electrocardiograms into the groups similar in terms of rhythmographic parameters. The practical application of the offered method as a part of the software support of electrocardiograms analysis will enable to provide operational evaluation of the rhythmographic nature of heart function in the course of screening examinations or in the emergency medicine for diagnosing and prediction.

**Keywords:** electrocardiogram; ECG; heart rate variability; rhythmography; clustering; Cobweb algorithm; emergency medicine.

**Введение.** Электрокардиография (ЭКГ) – это наиболее широко известный метод неинвазивного (бескровного) исследования состояния сердечно-сосудистой системы организма [1]. Одной из основных методик анализа ЭКГ является анализ variability сердечного ритма (ВСР, другие названия: кардиоинтервалография, КИГ, ритмография) – это исследование изменчивости ритма следования кардиоциклов. Длительность последовательных кардиоциклов нормального ритма меняется с течением времени. Величину и скорость этих изменений определяют значения показателей ВСР. ВСР отражает работу сердечно-сосудистой системы и работу механизмов регуляции организма человека.

В данной работе рассматривается кластеризация параметров variability сердечного ритма человека. Практическое применение предлагаемого метода в составе программного обеспечения анализа электрокардиограмм позволит проводить оперативную оценку ритмографического характера сердечной деятельности при скрининговых обследованиях или в медицине катастроф для целей диагностики и прогноза.

Исходными данными для анализа служит сигнал ЭКГ (рис. 1). Модель сердечного ритма представлена на рис. 2.

Последовательность этапов анализа ЭКГ: предварительная обработка ЭКГ, выделение кардиоциклов, анализ ВСР.

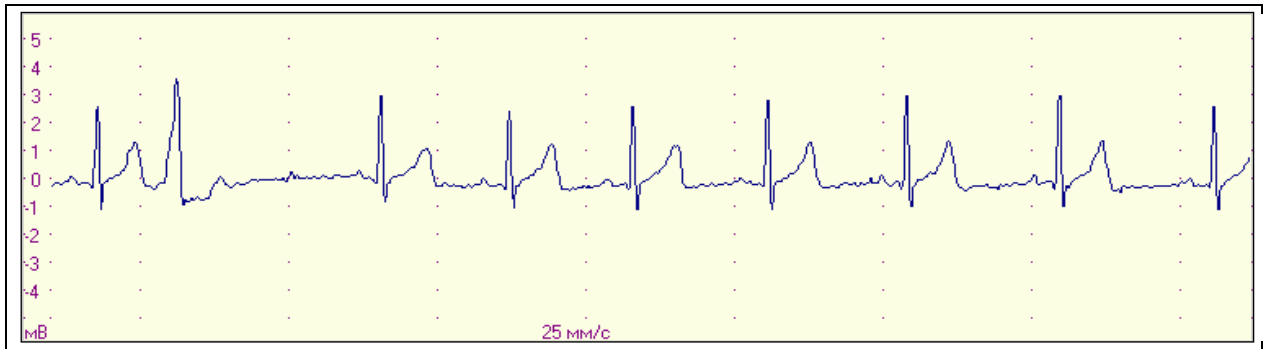


Рис. 1. Пример сигнала ЭКГ

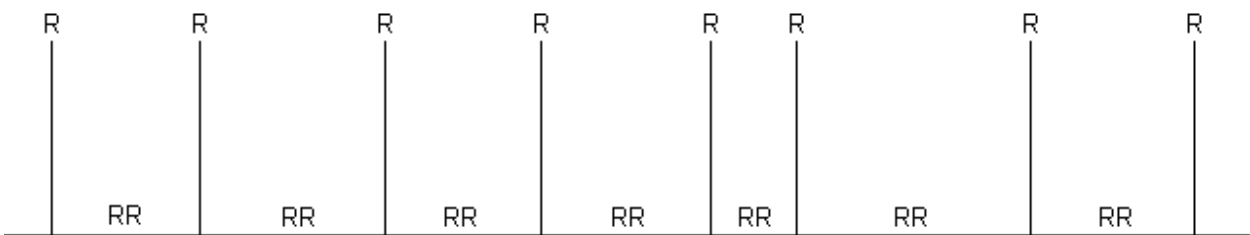


Рис. 2. Модель сердечного ритма

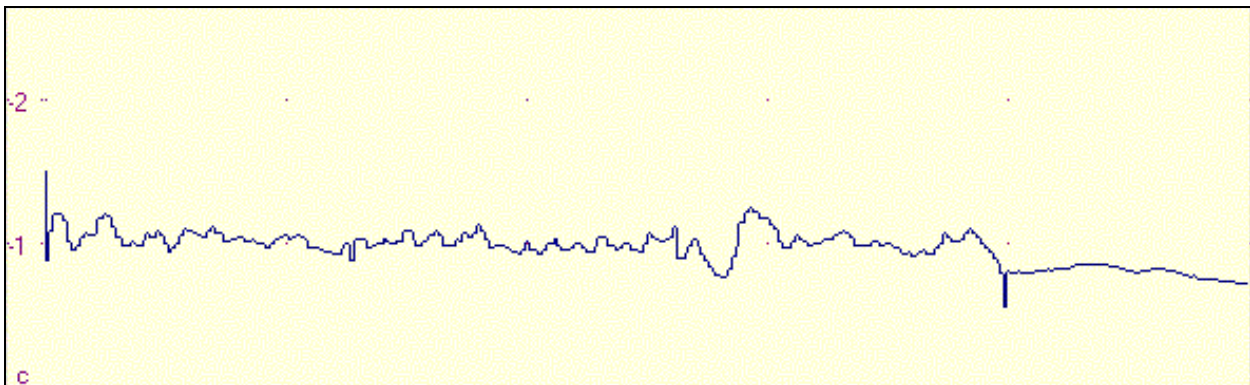


Рис. 3. Пример ритмограммы

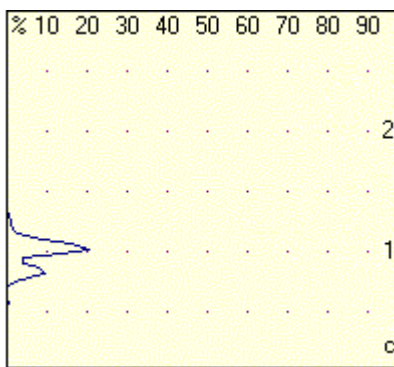


Рис. 4. Пример гистограммы

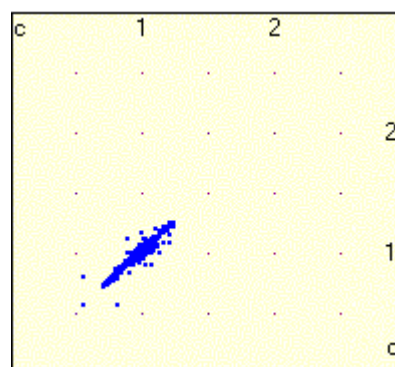


Рис. 5. Пример скатерограммы

**Методика анализа ВСП.** При анализе ВСП используют дополнительные диаграммы: ритмограмму (рис. 3), гистограмму (рис. 4) и скатерограмму (рис. 5) [2].

Ритмограмма – график вариационного ряда сердечных циклов, у которого по оси  $y$  отложены значения длительности кардиоцикла  $RR_i$ , а по оси  $x$  порядковые номера цикла  $i$  или время появления циклов  $t_i$ , что более предпочтительно, потому что в этом случае выдерживается временной масштаб графика. Ритмограмма является основным графиком и на её основе строятся остальные диаграммы.

Гистограмма – график сгруппированных значений  $RR$ -интервалов, где по одной оси откладывается их длительность, по другой – количество или процент от общего числа. Анализ гистограммы относят к геометрическим методам.

Скатерограмма (*Lorenz plot*) – это графическое отображение соответствия (корреляции) соседних  $RR$ -интервалов на 2-мерной координатной плоскости, по осям которой отложены временные значения интервалов  $RR_{i-1}$  и  $RR_i$ .

Статистический анализ ритмограммы выполняют по 2 методикам: по отечественному стандарту (по Баевскому) и по европейскому стандарту. Для полноты картины следует рассматривать оба стандарта.

По гистограмме определяются следующие параметры:  $M_0$  – мода (мс), наиболее частое значение среди интервалов (пик);  $AM_0$  – амплитуда моды (мс), доля циклов, соответствующая моде  $M_0$ ;  $\Delta X$  – вариационный размах (%), разность между длительностью наибольшего и наименьшего  $RR$ -интервалов.

Для статистического программного анализа используются следующие параметры анализа ВСП по Баевскому: ИВР – индекс вегетативного равновесия, определяет соотношение симпатической и парасимпатической регуляции сердечной деятельности; ВПР – вегетативный показатель ритма, позволяет судить о вегетативном балансе: чем меньше величина, тем больше вегетативный баланс смещен в сторону преобладания парасимпатической регуляции; ПАПР – показатель адекватности процессов регуляции, ПАПР отражает соответствие между уровнем функционирования синусового узла и симпатической активностью:

$$ИВР = \frac{AM_0}{\Delta X}; \quad ВПР = \frac{1}{M_0 \Delta X}; \quad ПАПР = \frac{AM_0}{M_0}. \quad (1)$$

**Кластеризация показателей ВРС.** При интерпретации показателей ВРС полученные значения следует отнести к той или иной условной группе значений – в пределах нормы или отклоняющееся от нормы. Целью же такой интерпретации является отнесение ритма записи ЭКГ конкретного пациента к одному из типов. Например ригидный синусовый ритм (со сниженной вариабельностью) является одним из симптомов острого инфаркта миокарда.

Для обучения системы анализа ВРС в части автоматического определения типа ритма целесообразно использовать методы кластерного анализа данных. Кластеризация [3] – это задача машинного обучения, в которой требуется разбить заданную выборку объектов (ситуаций) на непересекающиеся подмножества, называемые кластерами, так, чтобы каждый кластер состоял из схожих объектов, а объекты разных кластеров существенно отличались. Входные данные алгоритма кластеризации – это обучающая выборка, состоящая из  $m$  образцов:  $A = \{a_1, \dots, a_m\}$ . Для группировки образцов используется некая функция расстояния между ними  $\rho(a_i, a_j)$ . Необходимо произвести разбиение исходной выборки на непересекающиеся подмножества (кластеры), с таким условием, чтобы каждый кластер состоял из объектов, близких по метрике  $\rho$ , а объекты разных кластеров существенно отличались. При этом каждому объекту  $a_i \in A$  приписывается метка (номер) кластера  $b_i$ .

Задача кластеризации – это задача раздела искусственного интеллекта, который изучает методы построения систем, способных обучаться. Эта задача относится к классу задач: обучение без учителя. Обучение без учителя отличается от обучения с учителем (классификации) тем, что метки кластеров  $b_i$  исходных образцов  $a_i$  изначально не заданы. Задача классификации решается на этапе применения результатов кластеризации.

Для решения задачи кластеризации (*clustering problem*) необходим набор неклассифицированных объектов и средства измерения подобия объектов. Целью кластеризации является организация объектов в классы, удовлетворяющие некоторому стандарту качества, например на основе максимального сходства объектов каждого класса.

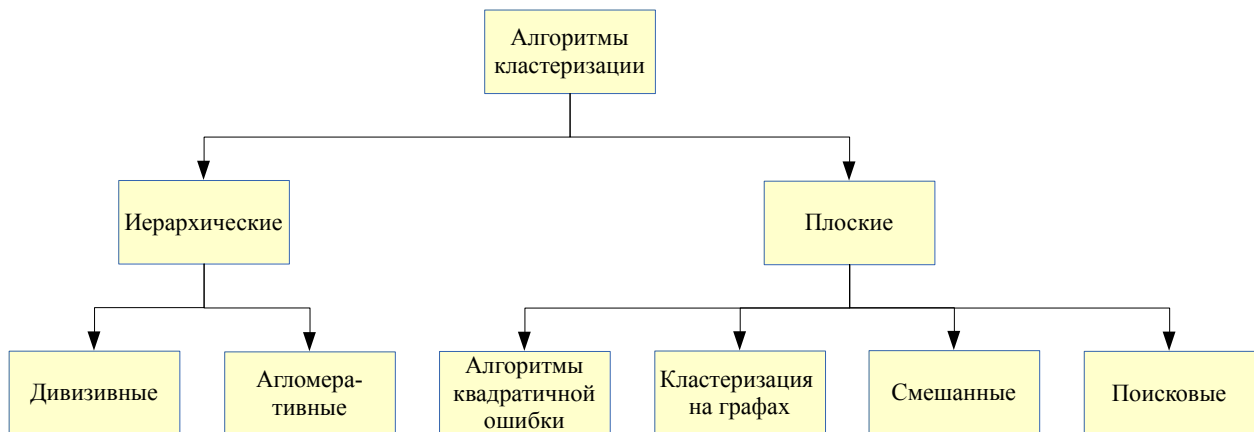


Рис. 6. Классификация методов кластеризации

Числовая таксономия (*numeric taxonomy*) – один из первых подходов к решению задач кластеризации. Числовые методы основываются на представлении объектов с помощью набора свойств, каждое из которых может принимать некоторое числовое значение. При наличии корректной метрики подобия каждый объект (вектор из  $n$  значений признаков) можно рассматривать как точку в  $n$ -мерном пространстве. Мерой сходства двух объектов можно считать расстояние между ними в этом пространстве. На рис. 6 представлена классификация известных методов кластеризации [4].

**Алгоритм концептуальной кластеризации.** В отличие от традиционной кластеризации, которая обнаруживает группы схожих объектов на основе меры сходства между ними, концептуальная кластеризация определяет кластеры как группы объектов, относящейся к одному классу или концепту – определённому набору пар атрибут-значение.

В алгоритме *Cobweb* [5] реализован инкрементальный алгоритм обучения, не требующий получения входных обучающих примеров одновременно до начала обучения. Решена проблема определения необходимого числа кластеров для разбиения входных данных – для определения количества кластеров, глубины иерархии и принадлежности категории новых экземпляров используется глобальная метрика качества. При предъявлении нового экземпляра алгоритм *Cobweb* оценивает качество отнесения этого примера к существующей категории и модификации иерархии категорий в соответствии с новым представителем. Критерием оценки качества классификации является полезность категории (*category utility*). Критерий полезности категории был определён при исследовании человеческой категоризации. Он учитывает влияние категорий базового уровня и другие аспекты структуры человеческих категорий.

Критерий полезности категории максимизирует вероятность того, что два объекта, отнесённые к одной категории, имеют одинаковые значения свойств и значения свойств для объектов из различных категорий отличаются. Полезность категории определяется формулой:

$$CU = \sum_{k=1}^n \sum_j \sum_i P(A_j = v_{ij}) P(C_k | A_j = v_{ij}) P(A_j = v_{ij} | C_k). \quad (2)$$

Значения суммируются по всем категориям  $C_k$ , всем свойствам  $A_j$  и всем значениям свойств  $v_{ij}$ .  $P(A_j = v_{ij} | C_k)$  – предсказуемость, то есть вероятность того, что объект, для которого свойство  $A_j$  – принимает значение  $v_{ij}$ , относится к категории  $C_k$ . Величина  $P(C_k | A_j = v_{ij})$  – предиктивность, то есть вероятность того, что для объектов из категории  $C_k$  свойство  $A_j$  принимает значение  $v_{ij}$ . Значение  $P(A_j = v_{ij})$  – это весовой коэффициент, усиливающий влияние наиболее распространенных свойств. Благодаря совместному учету этих значений высокая полезность категории означает высокую вероятность того, что объекты из одной категории обладают одинаковыми свойствами, и низкую вероятность наличия этих свойств у объектов из других категорий.

Описанный выше вариант алгоритма *Cobweb* имеет недостаток, заключающийся в возможности работы только с качественными показателями. Данный недостаток

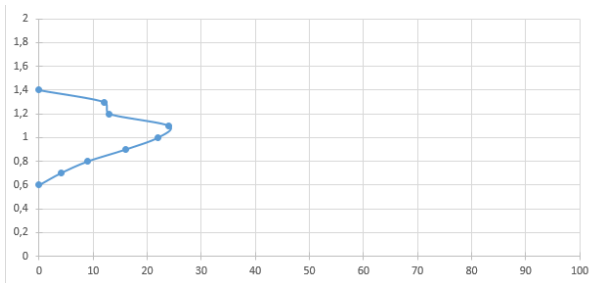
устраняется модификацией алгоритма для работы с количественными показателями [6].

- Кластер 0  
Образец: ИВР 49, ПАПР 35, ВПР 3
- Кластер 1  
Образец: ИВР 97, ПАПР 44, ВПР 3  
Образец: ИВР 98, ПАПР 44, ВПР 3
- Кластер 2  
Образец: ИВР 27, ПАПР 19, ВПР 2
- Кластер 3  
Образец: ИВР 121, ПАПР 46, ВПР 4  
Образец: ИВР 105, ПАПР 40, ВПР 4  
Образец: ИВР 118, ПАПР 41, ВПР 4
- Кластер 4  
Образец: ИВР 89, ПАПР 47, ВПР 3  
Образец: ИВР 95, ПАПР 47, ВПР 3
- Кластер 5  
Образец: ИВР 84, ПАПР 36, ВПР 3

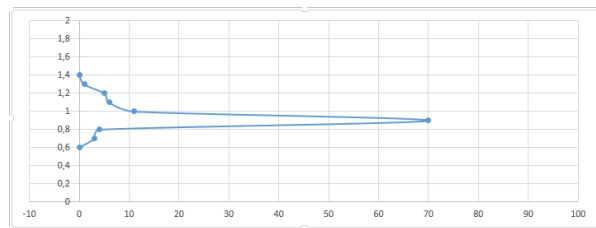
Рис. 7. Результат кластеризации статистических параметров

**Результаты экспериментов.** Для оценки применимости предложенного подхода были использованы 10 искусственно сгенерированных ритмограмм. Были построены гистограммы и вычислены статистические параметры согласно (1). Кластеризация образцов ритма, представленных параметрами выполнялась на основе модификация алгоритма *Cobweb* для количественно заданных показателей. В результате кластеризации был получен массив кластеров. Для проведения экспериментов было разработано программное обеспечение.

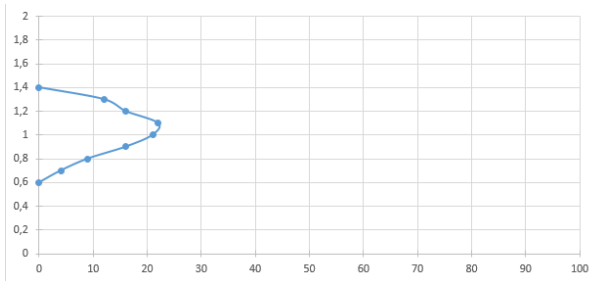
Результаты кластеризации представлены на рис 7. На рис. 8 представлены некоторые гистограммы образцов ритма.



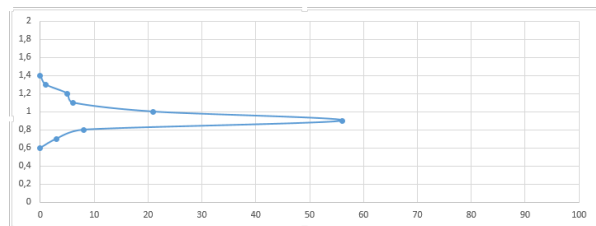
Кластер 1



Кластер 3



Кластер 1



Кластер 3

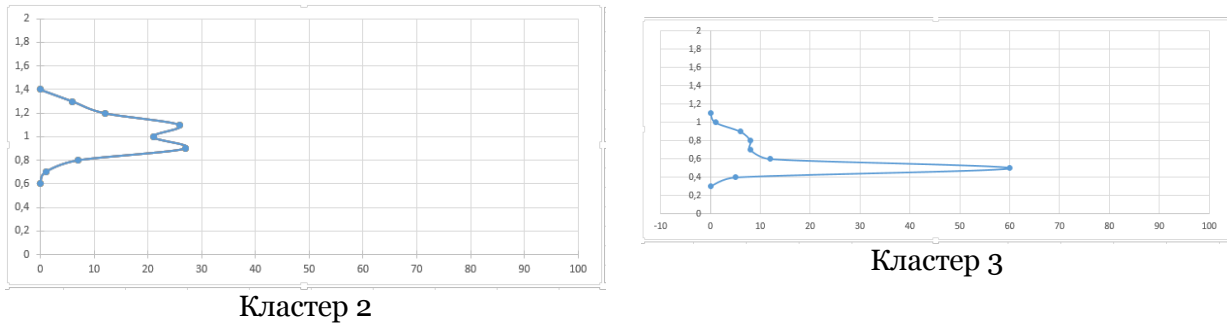


Рис. 8. Результат кластеризации гистограмм

**Выводы.** Результаты экспериментов подтверждают применимость кластеризации ритмографических параметров при анализе типа сердечного ритма. Практическое применение автоматического определения типа ритма требует дальнейших исследований.

#### Примечания:

1. Де Луна А. Б. Руководство по клинической ЭКГ. М.: Медицина, 1993. 704 с.
2. Коробейников А. В. Алгоритмы и комплексы программ мониторно-компьютерных систем для анализа морфологии и ритма электрокардиограмм: диссертация канд. техн. наук: 05.13.18, 05.11.16. Ижевск, 2004. 170 с.
3. Кошелева В. А. Концептуальная кластеризация как метод извлечения знаний из баз данных // IV международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Компьютерный мониторинг и информационные технологии». 13-14 мая 2008 г. URL: [www.ami.nstu.ru/~vms/lecture/data\\_mining/kurs\\_klaster.htm](http://www.ami.nstu.ru/~vms/lecture/data_mining/kurs_klaster.htm) (дата обращения 01.05.2014).
4. Филиппова Т. П., Коробейников А. В. Разработка методов кластеризации и классификации на основе алгоритма *Cobweb* // Информационные технологии в науке, промышленности и образовании: сб. тр. региональной научно-технической очно-заочной конференции. Ижевск: ИжГТУ, 2013. С. 110-115.
5. Люгер Д. Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем. 4-е изд. М.: Вильямс, 2003. 864 с.
6. Коробейников А. В., Исламгалиев И. И. Модификация алгоритма концептуальной кластеризации *Cobweb* для количественных данных с использованием нечеткой функции принадлежности // Приволжский научный вестник Ижевск: Самохвалов Антон Витальевич, 2013. № 3. С. 9-14.

#### References:

1. De Luna A. B. Rukovodstvo po klinicheskoy JeKG. M.: Medicina, 1993. 704 s.
2. Korobejnikov A. V. Algoritmy i komplekсы programm monitorno-komp'juternyh sistem dlja analiza morfologii i ritma jelektrokardiogramm: dissertacija kand. tehn. nauk: 05.13.18, 05.11.16. Izhevsk, 2004. 170 s.
3. Kosheleva V. A. Konceptual'naja klasterizacija kak metod izvlechenija znanij iz baz dannyh // IV mezhdunarodnaja nauchnaja konferencija studentov, aspirantov i molodyh uchenyh «Komp'juternyj monitoring i informacionnye tehnologii». 13-14 maja 2008g. URL: [www.ami.nstu.ru/~vms/lecture/data\\_mining/kurs\\_klaster.htm](http://www.ami.nstu.ru/~vms/lecture/data_mining/kurs_klaster.htm) (data obrashhenija 01.05.2014).
4. Filippova T. P., Korobejnikov A. V. Razrabotka metodov klasterizacii i klassifikacii na osnove algoritma Cobweb // Informacionnye tehnologii v nauke, promyshlennosti i obrazovanii: sb. tr. regional'noj nauchno-tehnicheskoy ochno-zaочноj konferencii. Izhevsk: IzhGTU, 2013. S. 110-115.
5. Ljuger D. F. Iskusstvennyj intellekt: strategii i metody reshenija slozhnyh problem. 4-e izd. M.: Vil'jams, 2003. 864 s.
6. Korobejnikov A. V., Islamgaliev I. I. Modifikacija algoritma konceptual'noj klasterizacii Cobweb dlja kolichestvennyh dannyh s ispol'zovaniem nechetkoj funkcii prinadlezhnosti // Privolzhskij nauchnyj vestnik Izhevsk: Samohvalov Anton Vital'evich, 2013. № 3. S. 9-14.

УДК 004.93 + 616.12-008.31

## **Кластеризация параметров ритмографического анализа электрокардиограммы человека**

<sup>1</sup>Екатерина Александровна Филиппова

<sup>2</sup>Александр Васильевич Коробейников

<sup>3</sup>Денис Вячеславович Ложкарев

<sup>1</sup>Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова,  
Российская Федерация  
E-mail: katty.filip@gmail.com

<sup>2</sup>Камский институт гуманитарных и инженерных технологий, Российская Федерация  
Кандидат технических наук, доцент

<sup>3</sup>Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова,  
Российская Федерация

**Аннотация.** Рассматривается кластеризация параметров variability сердечного ритма человека. Изложена методика вычисления параметров и построения диаграмм ритмографического анализа. Для кластеризации параметров используется алгоритм концептуальной кластеризации Cobweb модифицированный для количественных данных. Результаты экспериментов подтверждают эффективность разделения обучающего множества образцов электрокардиограмм на группы похожих по характеру ритмографических параметров. Практическое применение предлагаемого метода в составе программного обеспечения анализа электрокардиограмм позволит проводить оперативную оценку ритмографического характера сердечной деятельности при скрининговых обследованиях или в медицине катастроф для целей диагностики и прогноза.

**Ключевые слова:** электрокардиограмма; ЭКГ; variability сердечного ритма; ВСР; ритмография; кластеризация; алгоритм Cobweb; медицина катастроф.