

Министерство образования и науки Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра динамического моделирования и биомедицинской инженерии  
наименование кафедры

**применение кросс-вейвлетного анализа для исследования  
взаимодействия низкочастотных колебаний в сердечно-сосудистой  
системе по временным рядам  
АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ**

Студента (ки) 4 курса 461 группы

направления 12.03.04 «Биотехнические системы и технологии»  
код и наименование направления

факультета nano- и биомедицинских технологий  
наименование факультета

Жусубалиевой Айжан Шаймуровны  
фамилия, имя, отчество

Научный руководитель  
доцент, к.ф.-м.н  
должность, уч. степень, уч. звание

\_\_\_\_\_  
дата, подпись

В.С. Хорев  
инициалы, фамилия

Зав. кафедрой:  
д.ф.-м.н., доцент  
должность, уч. степень, уч. звание

\_\_\_\_\_  
дата, подпись

Е.П. Селезнев  
инициалы, фамилия

Саратов 2017 г.

Введение: Метод кросс-вейвлетного анализа широко применим во многих областях, таких как нейросети и другие механизмы анализа данных, обработка изображений, сжатие данных, система передачи данных и цифровой обработки сигнала, обработка экспериментальных данных.

Несмотря на то, что кросс-вейвлетном анализе хорошо разработана и математическая структура и теория, этот метод оставляет обширное поле для исследования.

Метод кросс-вейвлет в большей степени подходит для анализа конкретных данных, кроме того, огромное значение имеет задача разработки приложений.

Использование этого метода - как в перечисленных областях, так и во многих других, перечислить которые просто не представляется возможным.

Актуальность темы: Несмотря на большой интерес к анализу подсистем регуляции в сердечно-сосудистой системе у современных исследователей, а также существенную популярность методики кросс-вейвлет приложениях, анализа взаимодействия в вариабельности сердечного ритма и кровенаполнения дистального сосудистого русла с её помощью не проводилось.

Цель исследования: Цель работы — исследовать динамику взаимодействия ритмов в частотном диапазоне с помощью метода кросс-вейвлетного анализа посредством анализа временных рядов сигналов сердечно - сосудистой системы и временных рядов модельных данных.

Задачи исследования: Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- 1) Провести анализ литературы по сердечно-сосудистой системы
- 2) Приготовление модельных данных через системы осциллятор Ван-Дер-Поля на осциллятор Ван-Дер-Поля и воздействие Ван-Дер-Поля на модель барорефлекторной регуляции
- 3) Анализ модельных данных полученные с помощью систем
- 4) Анализ биомедицинских данных
- 5) Сопоставление результатов полученных данных

Структура и объем работы: По своей структуре работа состоит из введения, 3 глав, заключения и списка использованных источников. Работа изложена на 46 страницах машинописного текста, содержит 33 рисунка и списка литературы из 20 наименований.

Основное содержание работы

*Во введении* обосновывается актуальность выбранной темы и решаемых задач, формулируется цель исследования, определяется научная новизна и практическая ценность результатов.

*В первом разделе* метод анализа регистрации сигналов, описывающих состояние центральной гемодинамики и сердечно сосудистой системы.

В некоторых методах обработки полученных данных, возникают проблемы, которые связаны с особенностью человеческого организма и качеством проводимых измерений.

В первом случае, колебания имеют сложную структуру – это сложные нелинейные системы, которые носят негармонический и квазипериодический характер.

Во втором случае проблема связана с отсутствием возможностей в непрерывном наблюдении, различными артефактами.

Для обработки и анализа таких сложных сигналов оказался кросс-вейвлетный анализ.

Методы кросс-вейвлетного анализа применяются во многих задачах (фильтрация сигналов, анализ сигналов и изображений, сжатие информации), а на сегодня и обработка результатов данных ЭКГ и фотоплетизмограммы.

Рассмотрим метод кросс-вейвлетного анализа, а так же пример его использования для целей обработки и анализа данных, характеризующих состояние сердечно-сосудистой системы.

На вейвлет-плоскости можно зафиксировать, как меняется со временем амплитудный состав сигнала, или узнать в какие моменты в сигнале появились всплески различной продолжительности.

Во втором разделе представлены результаты анализа эталонных моделей радиофизических систем. Чтобы проверить, насколько схожи результаты модельных данных с условно здоровыми и людьми с патологиями, использовалась система однонаправленной связи осциллятора Ван-дер-Поля на осциллятор Ван-дер-Поля. Однонаправленная связь, когда один из коэффициентов равен нулю, а другой определяет и силу, и направление связи. Система Ван-дер-Поля является «эталонной» моделью теории колебаний и нелинейной динамики, описывающая автоколебания и простейший вариант бифуркации Андронова-Хопфа, эта система описывается следующими уравнениями:

$$\begin{aligned} \ddot{x}(t) - (\lambda_1 - x^2(t)) \dot{x}(t) + \omega_1 x(t) + K_2 y(t - \Delta) \\ \ddot{y}(t) - (\lambda_2 - y^2(t)) \dot{y}(t) + \omega_2 y(t) + K_1 x(t - \Delta) \end{aligned} \quad (1)$$

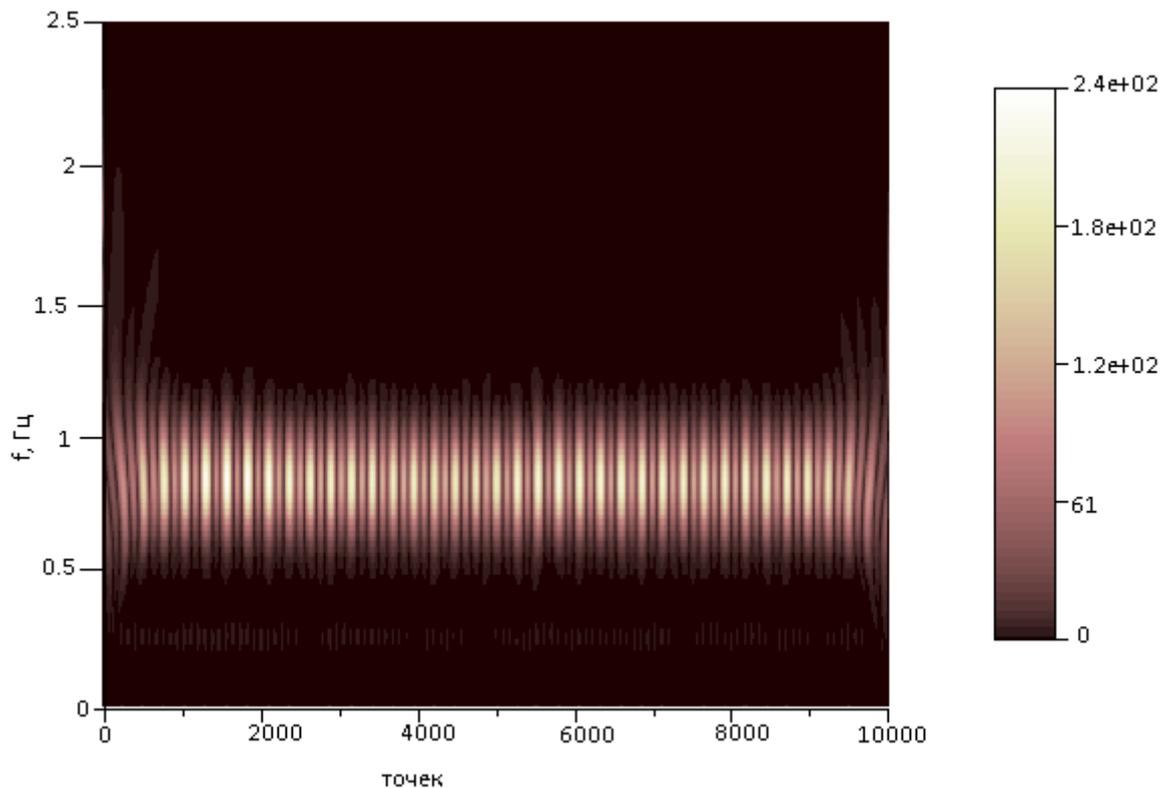


Рисунок 1 - Результат анализа модели однонаправленной связи осциллятора Ван-дер-Поля на осциллятор Ван-дер-Поль,  $\lambda_1=1$ ,  $\lambda_2=0.9$ ,  $K_1=0.1$ ,  $\Delta=1$

Вторая, использованная в дипломной работе система, представляет собой модель системы барорефлекторной регуляции артериального давления. Модель описывается дифференциальным уравнением первого порядка с запаздывающей обратной связью:

$$\varepsilon \ddot{y}(t) = -\dot{y}(t) + f(y(t-\tau)) + K_1 x(t-\Delta) + \xi_d(t) \quad (2)$$

Где  $\tau$  интерпретируется как время запаздывания сигнала при его распространении по нервной системе, параметр  $\varepsilon$  характеризует инерционные свойства сосудов и артериальных барорецепторов, функция  $f$  описывает нелинейное преобразование, осуществляемое с сигналом в центральных отделах симпатической нервной системы

$f(x) = \frac{c}{1 + ae^{\beta(x+\delta)}} - \frac{c}{1 + ae^{-\beta(x+\delta)}}$ , где  $a$ ,  $\beta$ ,  $c$ ,  $\delta$  — параметры, определяющие

внешний вид сигмоидальной функции, динамическая переменная  $x(t)$

отражает изменение во времени сигнал в исследуемом контуре регуляции артериального давления.

Рассмотрим модельные данные, полученные с помощью системы (2) под внешним воздействием осциллятора Ван-Дер-Поля:

$$\ddot{x}(t) - \varepsilon(1 - x^2(t))\dot{x}(t) + \omega_0 x(t) + K_2 y(t - \Delta) + \xi_d(t) = 0 \quad (3)$$

Для проведения анализа мы сгенерировали модельные ряды со следующими параметрами  $\sigma_{\xi_d}=0.7$ ,  $\sigma_{\xi_i}=0.5$ ,  $K_1=0.3$ ,  $K_2=0.5$ ,  $W=1.5$  (фиксированные значения).

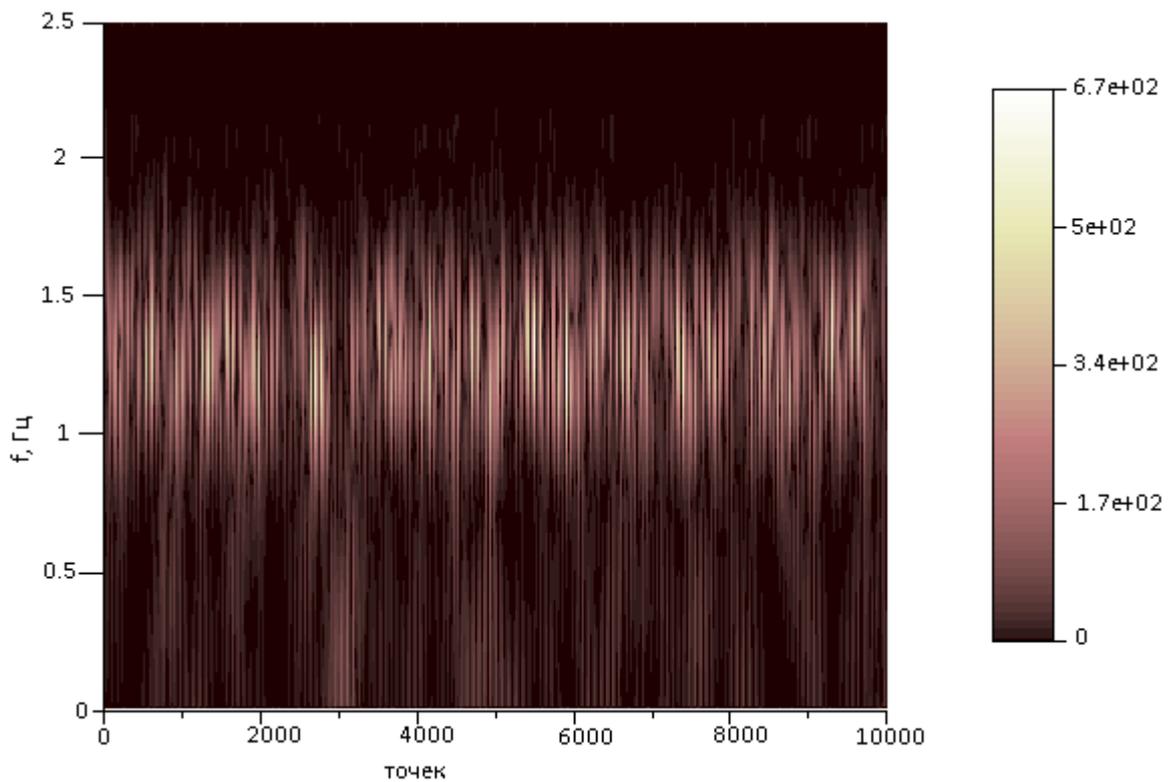


Рисунок 2 - Результат Вейвлет-анализа модельной системы при следующих значениях параметров:  $\xi_d(t) = 1$ ,  $\sigma_{\xi_i} = 0.5$ ,  $K_1 = 0.3$ ,  $K_2 = 0.5$ ,  $W = 1.5$

В третьем разделе рассматриваются результаты анализа биомедицинских данных полученные результаты на графиках, условно здорового человека, по трем отведениям на рисунках 3-5. Уровнями цвета отмечены частотно-временные области, отражающие уровни взаимодействия между сигналами.

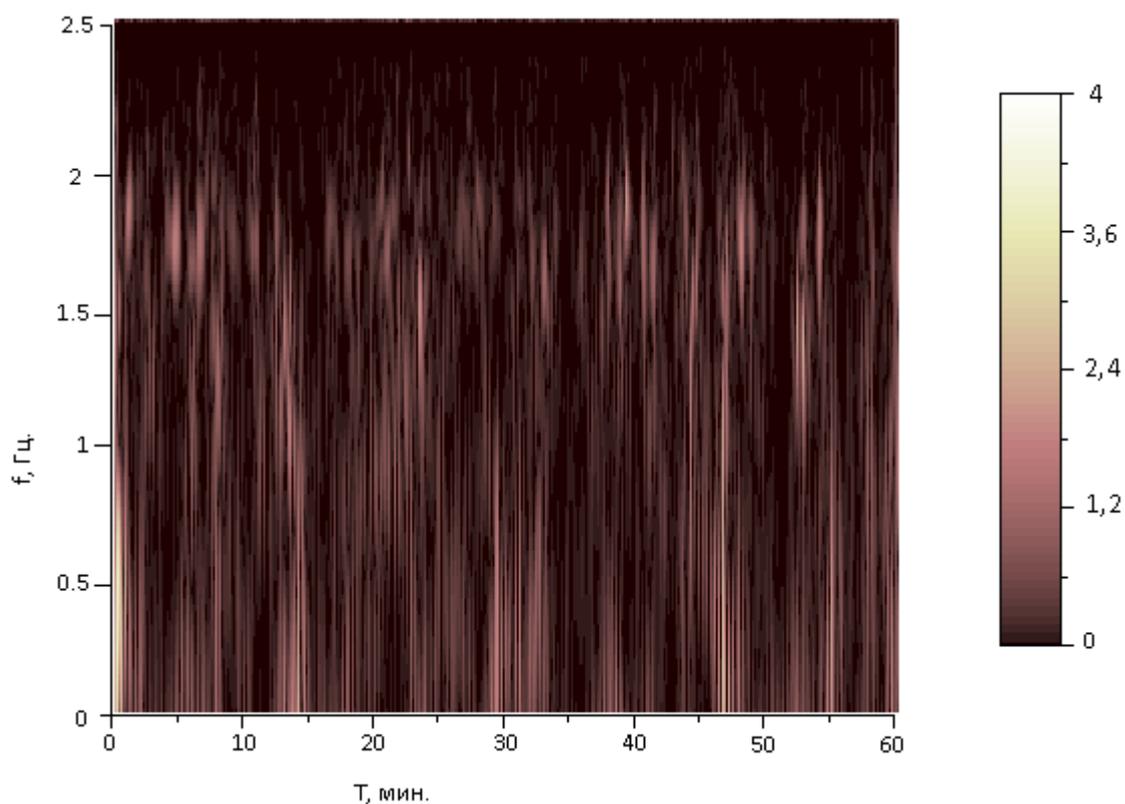


Рисунок 3 - Вейвлет-плоскости, полученные для сигналов кардиоинтервалограммы и ФПГ руки условно здоровых испытуемых

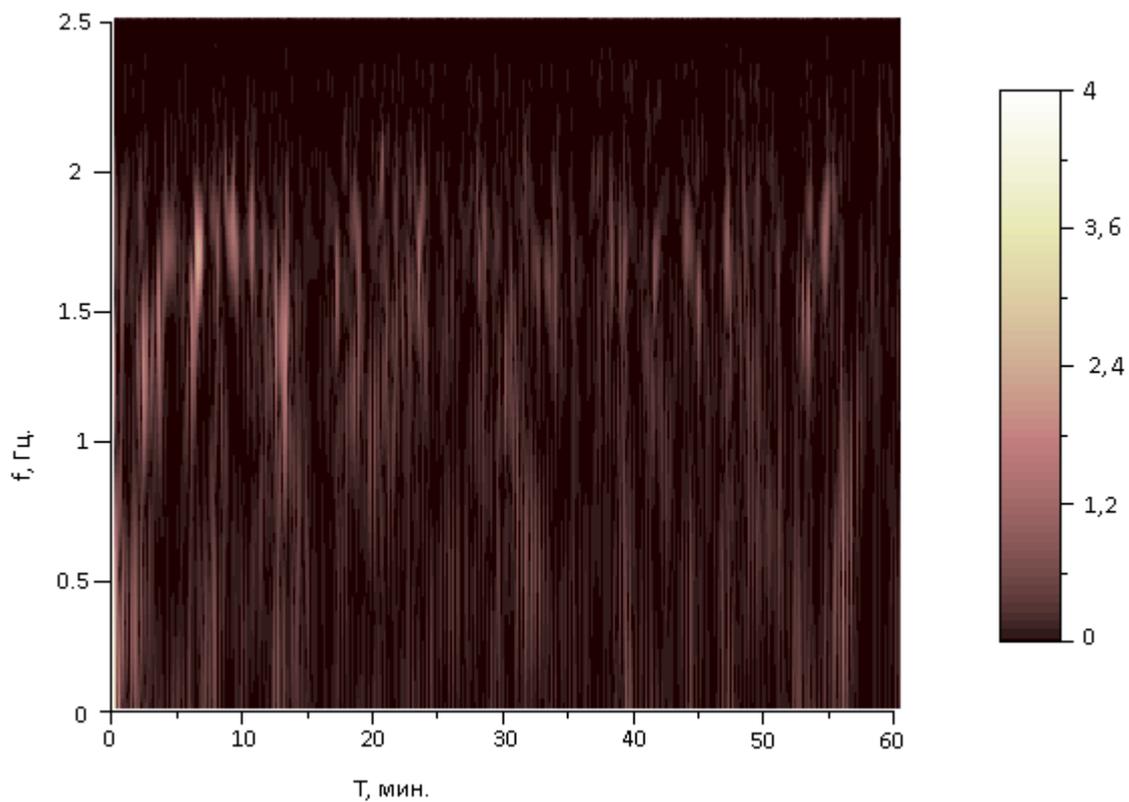


Рисунок 4 - Вейвлет-плоскости, полученные для сигналов кардиоинтервалограммы и ФПГ мочки уха условно здоровых испытуемых

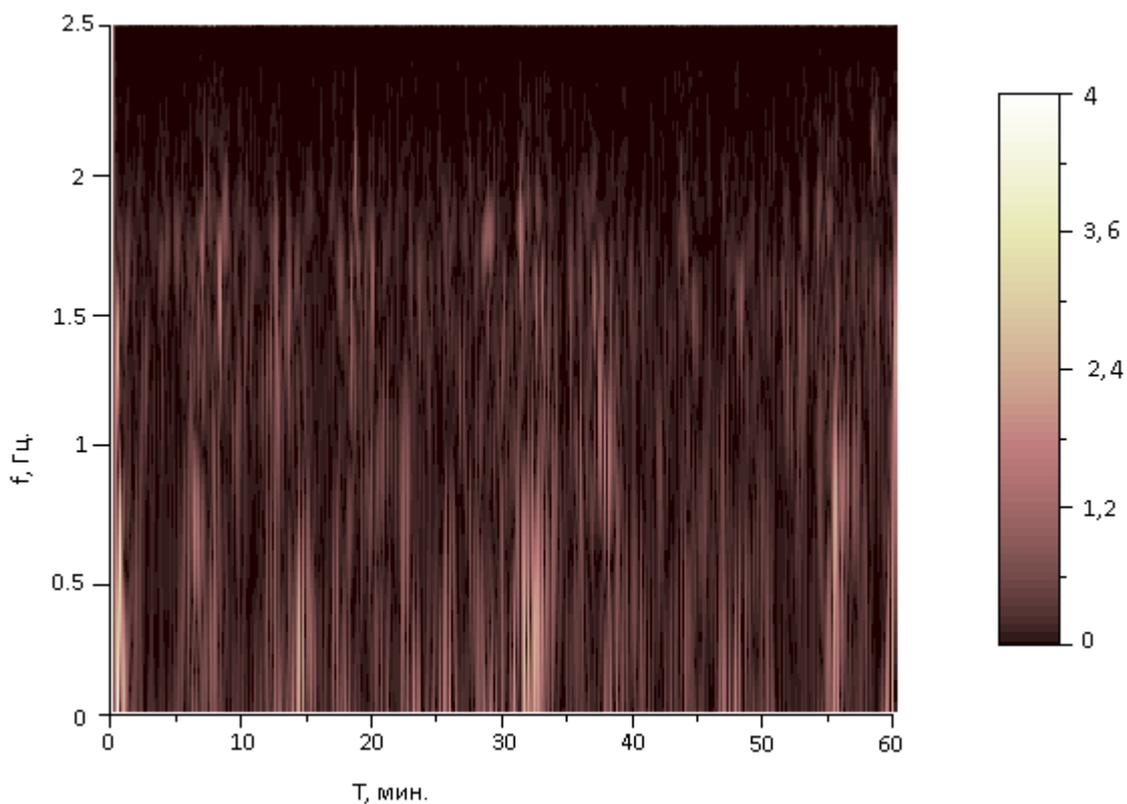


Рисунок 5 - Вейвлет-плоскости, полученные для сигналов кардиоинтервалограммы и ФПГ ноги условно здоровых испытуемых

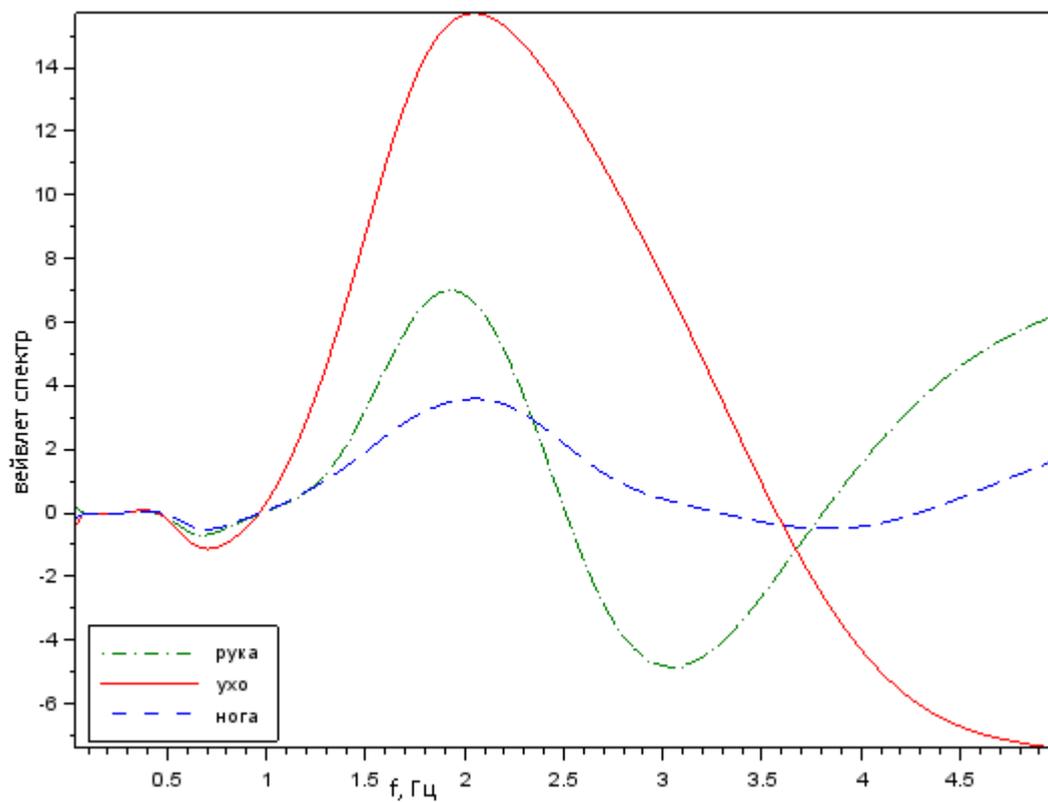


Рисунок 6 - Вейвлет-плоскости, полученные для сигналов кардиоинтервалограммы и ФПГ усреднение по отведениям условно здоровых испытуемых

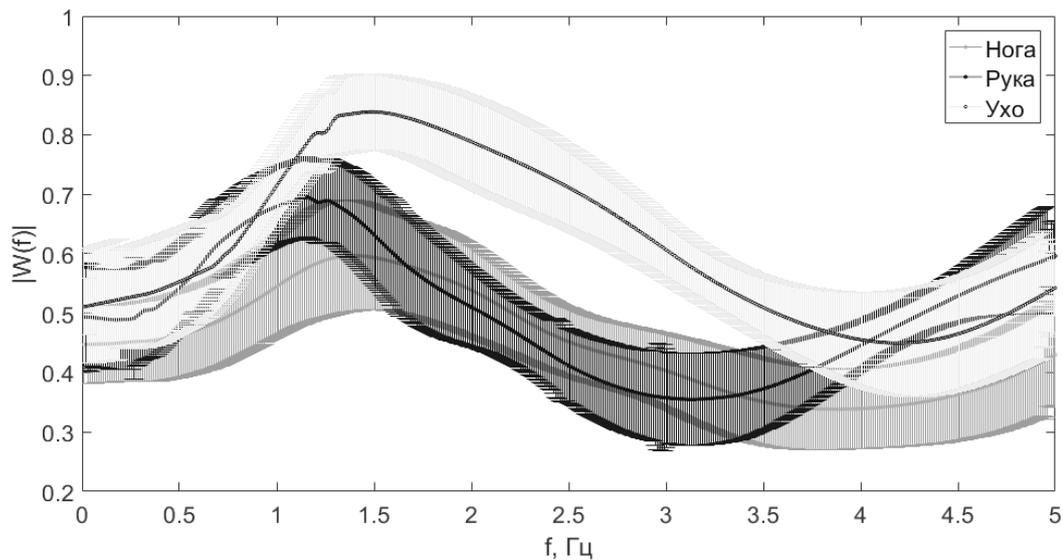


Рисунок 7 - Усреднённые по ансамблю записей зависимости вейвлет спектра от частоты для различных точек съема. Вертикальными ограничителями показана средняя ошибка среднего

На рисунках 6 — 7 кривые представляют собой зависимости вейвлет спектра от частоты для различных точек съема (отведение руки, отведении мочки уха, отведение ноги).

В ходе работы был проведен анализ вейвлетного преобразования, полученная с помощью базисного Морле - вейвлета, для людей перенесшие острый инфаркт миокарда

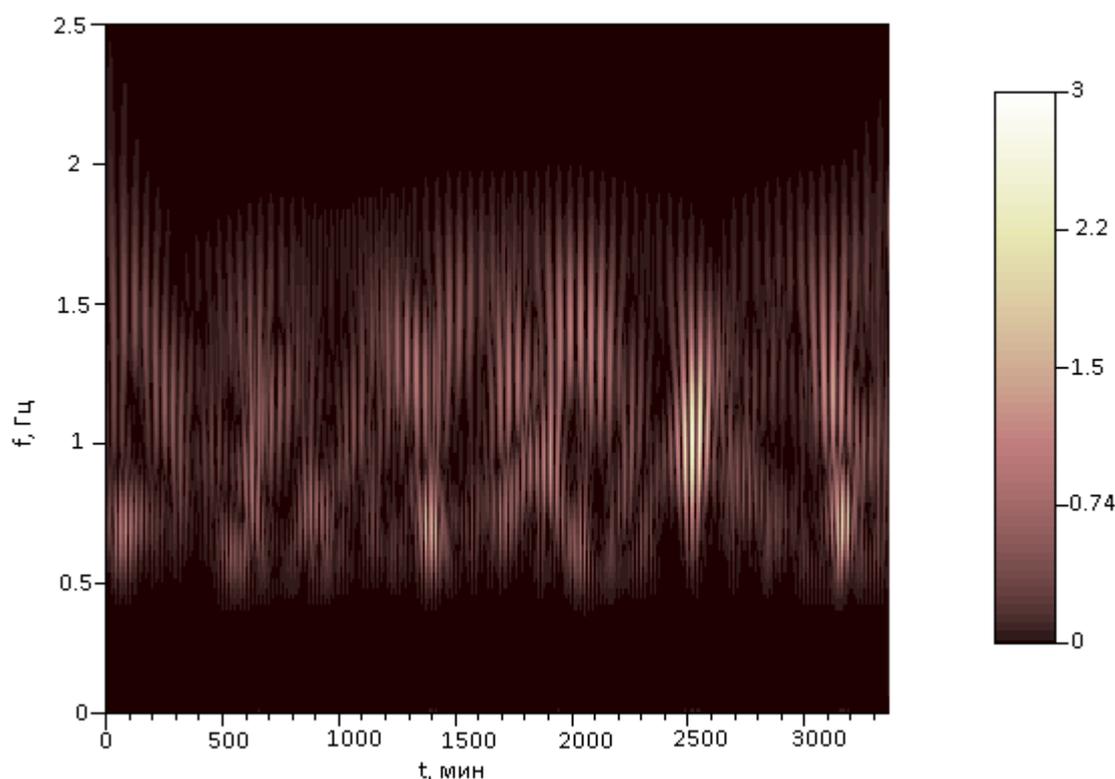


Рисунок 8 - Проекция распределения амплитуды вейвлетного преобразования, полученная с помощью базисного Морле - вейвлета первого испытываемого

### Заключение

В представленной работе исследовали динамику взаимодействия ритмов в частотном диапазоне с помощью метода кросс-вейвлетного анализа, посредством анализа временных рядов сигналов сердечно-сосудистой системы временных рядов модельных данных. В представленной работе была исследована динамика взаимодействия ритмов в частотном диапазоне с помощью метода кросс-вейвлетного анализа, посредством анализа временных рядов сигналов сердечно-сосудистой системы и временных рядов модельных данных.

Для решения задачи анализа модельных данных были численно интегрирована система однонаправленно связанных осцилляторов Ван-дер-Поля и Ван-дер-Поля с моделью барорефлекторной регуляции.

Удалось пронаблюдать увеличение получаемого уровня оценки взаимодействия между анализируемым сигналом, при увеличении уровня оцениваемого взаимодействия при увеличении уровня динамического шума.

По полученным данным можно сделать вывод, что в результатах, полученных для условно здоровых людей, наблюдается явная полоса взаимодействия в отличие от результатов, получаемых для пациентов, перенёсших острый инфаркт миокарда, а уровни взаимодействия, полученные с уха, отличаются от полученных с пальца руки или ноги и принимают более высокие значения.