

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

**Исследование взаимной когерентности между записями
фотоплетизмограммы и электроэнцефалограммы (здорового человека)**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Студента 4 курса 461 группы

направления 12.03.04 «Биотехнические системы и технологии»

код и наименование направления

факультета нано- и биомедицинских технологий

наименование факультета

Игнатова Александра Сергеевича

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. В настоящий момент задача приема и обработки сигналов от нескольких источников продолжает оставаться востребованной, несмотря на огромное количество проведенных исследований и полученные в этом направлении результаты. Решение поставленной задачи имеет важное значение в различных областях науки и техники, таких, как авиация, медицина и биомедицина. Для всех вышеперечисленных областей необходима разработка современных систем обработки информации.

Изучение новых направлений применения когерентных волн дает возможность высказать предположение, что медицина и биология в скором времени станут одной из основополагающих областей использования техники обсуждаемых диапазонов и такое ее применение будет плодотворным как в социальном, так и экономическом плане.

Когерентность — это коррелированность нескольких колебательных или волновых процессов во времени, которые проявляются при их сложении. Колебания когерентны, если разность их фаз постоянна во времени и при сложении колебаний получается колебание той же частоты.

Целью данной работы является использование метода взаимной когерентности для анализа сигналов, полученных экспериментально.

Для достижения поставленной цели были запланированы следующие **задачи:**

- Изучить особенности записей электрической активности мозга, отводимой с поверхности кожи головы, а также особенности применения метода регистрации таких потенциалов.
- Изучить функцию взаимной когерентности, которая является аналогом коэффициента корреляции в частотной области и отражает степень линейной взаимосвязи гармонических компонент рассматриваемых процессов.

- Произвести экспериментальную обработку модельных данных и реальных данных для получения результатов, позволяющих сделать вывод о наличии значимого взаимодействия между ними.

Основное содержание работы. Биоэлектрическую активность головного мозга можно регистрировать с помощью электродов, которые располагаются на поверхности головы пациента. Это обследование получило название электроэнцефалография. Слово образовано от греческого: головной мозг + писать. Далее сокращённо ЭЭГ. Обследование сводится к визуальной оценке группы кривых, полученных в ходе электроэнцефалографического обследования. Эти кривые и называются электроэнцефалограммой. Благодаря ЭЭГ можно оценить нормальную или нарушенную активность головного мозга, а также есть ли в его активности какие-либо патологии. Метод применяется как дополнительный метод диагностики при большом круге заболеваний центральной нервной системы, а ещё при различных заболеваниях внутренних органов. ЭЭГ используется при медицинских осмотрах для некоторых профессий, связанных с высоким риском травм на производстве.

Снятие энцефалограммы происходит с учетом некоторых правил: в состоянии бодрствования и сна или под действием нескольких типов основных стимулов. Стимулы бывают различны. Например, периодические фотовспышки яркого света при закрытых веках, увеличение глубины дыхания в течении некоторого времени, моргающие движения век.

Энцефалограмма позволяет пронаблюдать и оценить степень поражения мозговых структур, указать точное местонахождение патологического процесса. Для описания динамики автоколебательных систем в ряде случаев хорошо подходит модель в виде осциллятора Ван-дер-Поля.

Задача о динамике двух диссипативно связанных автоколебательных осцилляторов (автогенераторов) является фундаментальной в теории колебаний и нелинейной динамике. Оценка состояния деятельности головного мозга и сердца является отличным индикатором, который отражает степень развития различных патологий, как в нервной и сердечно-сосудистой системе, так и в

организме в целом. Несмотря на доказанную высокоинформативность и значимость для медицинской диагностики, до сегодняшнего дня предложенные количественные меры оценки степени активности этих подсистем базировались на методах статистического и спектрального анализа. В этих методах не учитывались особенности взаимодействия подсистем. Это можно объяснить сложностью сигналов, которые получают из исследуемых систем, анализ которых требует разработки специализированных методов, которые основаны на методах нелинейной динамики и динамического моделирования.

Самым лучшим показателем связи между двумя переменными является коэффициент корреляции. Это безразмерная величина, которая изменяется от минус единицы до плюс единицы.

В теории колебаний существует задача отслеживания динамики двух связанных осцилляторов. Основные эффекты, которые можно наблюдать, исследуя такие осцилляторы - это взаимный захват с различным соотношением частот, квазипериодические колебания и эффект гашения колебаний. Этим режимам отвечают различные области на плоскости параметров.

В основном, для множества ситуаций, фазовая динамика осцилляторов, имеющих чётко выраженный ритм, доступно описывается стохастическими дифференциальными уравнениями, поэтому в качестве наиболее простой и универсальной модели взаимодействующих систем были выбраны однонаправленно связанные фазовые осцилляторы.

Анализ модельных данных. С точки зрения качественного описания автоколебательных систем в большем количестве случаев хорошо подходит модель в виде осциллятора Ван-дер-Поля. Поэтому в качестве второй исследуемой модели используем однонаправленно связанные осцилляторы Ван-дер-Поля (1).

$$\ddot{x}_1(t) - (\lambda - x_1^2(t))\dot{x}_1(t) + f_1 x_1(t) + \xi_1(t) = 0, \quad (1)$$

$$\ddot{x}_2(t) - (\lambda - x_2^2(t))\dot{x}_2(t) + f_2 x_2 + k(x_2(t) - x_1(t - \Delta)) + \xi_2(t) = 0,$$

где $f_{1,2}$ – собственные частоты, λ – коэффициент нелинейности, $\xi_{1,2}$ – белые шумы с нулевым средним, k – коэффициент связи между осцилляторами, Δ – задержка в связи между системами.

Параметры (2):

Коэффициент связи между осцилляторами составлял 0.1.

Собственная частота первого осциллятора 0.101; второго – 0.1.

Коэффициент нелинейности первого 1.01; второго – 1.02.

Задержка в связи между системами 1.

Белый шум с нулевым средним первого составлял 0.04; второго – 0.01.

Для визуализации системы связанных осцилляторов по особым параметрам (2) была написана программа, которая с помощью метода Эйлера генерирует временные ряды (рисунок 1).

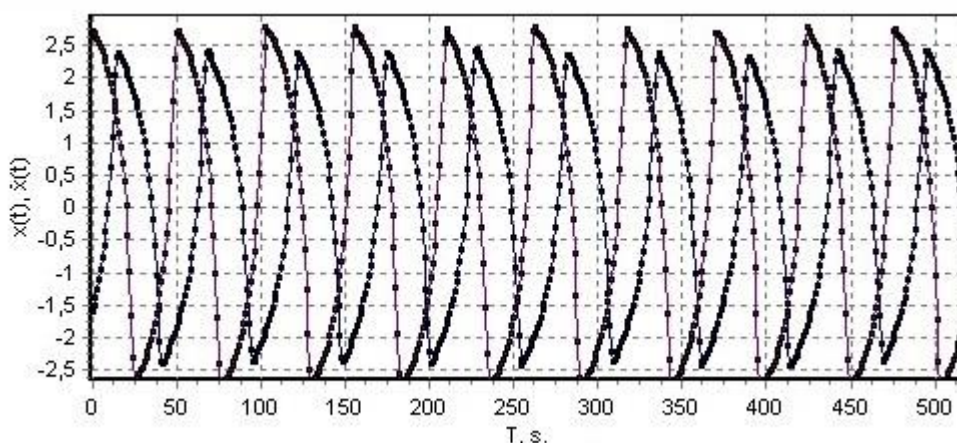


Рисунок – 1 Временной ряд системы (1) однонаправленных осцилляторов Ван-дер-Поля по особым параметрам (2)

Построен фазовый портрет (рисунок 2, рисунок 3):

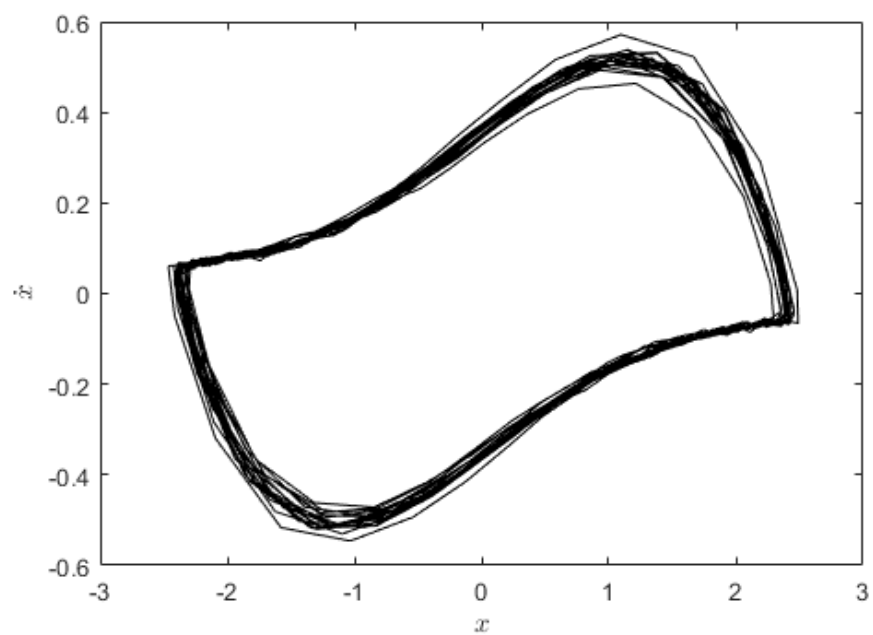


Рисунок 2 - Фазовый портрет ведущей системы

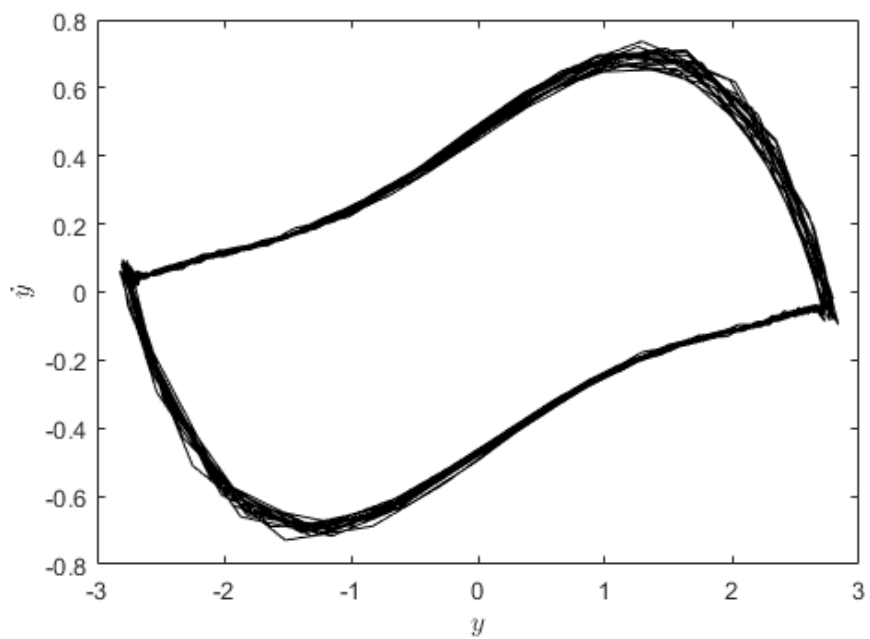


Рисунок 3 - Фазовый портрет ведомой системы

Для построения эталонной системы использовано прямое Фурье-преобразование. После расчета преобразования получены коэффициенты синуса и косинуса. Коэффициенты синуса случайным образом, а косинуса высчитаны через корень их суммы.

Таким образом сумма квадратов суммы квадратов для исходного ряда. После этого было произведено обратное Фурье-преобразование. Итогом которого становится получение суррогатного временного ряда. На рисунке 4 изображен график кросс-когерентности для эталонной системы со слегка расстроенными параметрами и задержкой связи, а также полный 95% уровень значимости, полученный с помощью суррогатных данных методом рандомизации Фурье-фаз исходного сигнала.

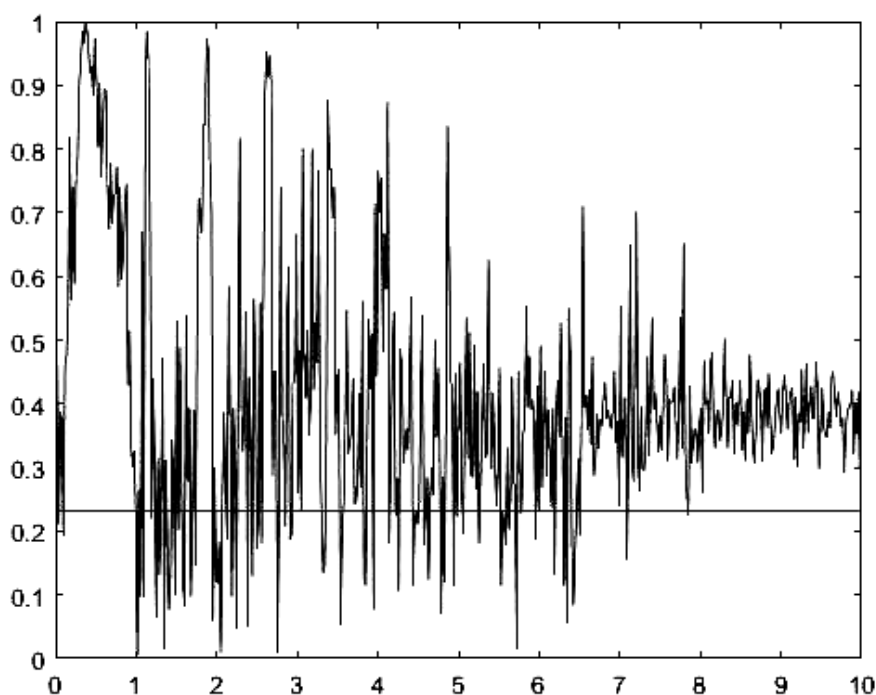


Рисунок 4 - График кросс-когерентности для эталонной системы

Для определения принадлежности ЭЭГ-сигналов к хаотическим по каждому из отведений рассчитывались корреляционные размерности, и затем строились графики для реального сигнала и для суррогатных данных.

Для получения результата теста на нелинейность методом суррогатных данных необходимо сравнивались зависимости мгновенной корреляционной размерности для участка ЭЭГ и суррогатных данных. Визуальное сравнение говорит о схожести зависимостей или их значительном расхождении.

Анализ реальных данных. Для проведения эксперимента были взяты суррогатные данные ЭЭГ пациента, у которого не наблюдались признаки инсульта. Данные получены с помощью электродов, установленных на голове пациента, а также электродов, установленных в определенных точках, референциальные электроды (располагаются на мочках ушей) и электрод заземления. Опыт проводился в состоянии покоя пациентов. Электроды устанавливали таким образом, чтобы регистрировать потенциалы с двух точек с разноименными зарядами. Кожа под электродами перед регистрацией ЭЭГ обезжирена с помощью спиртового раствора. Во время записи ЭЭГ пациент находился в состоянии полного покоя. Дыхание стабильно. ЭЭГ позволило графически отобразить электрическую активность мозга.

Проанализировав электроэнцефалограмму, можно оценить, является ли электрическая активность мозга пациента нормальной или нарушенной, увидеть характерные изменения ЭЭГ и оценить тяжесть заболевания.

Данные, снятые с пациента, были распределены по группам и отведениям. Далее произведена их обработка.

В работе с помощью метода взаимной когерентности были обработаны сигналы, полученные со здоровых субъектов, и выявлены основные частоты взаимодействия между ними. Учет полученных результатов может позволить расширить диагностические возможности методик для исследования динамики подсистем регуляции.

Результаты по данным сердечно-сосудистой системы. Метод анализа взаимной когерентности перспективен для определения степени взаимодействия между отдельными процессами, протекающими в организме человека с различных функциональных тестов, в случае непрерывной длительной регистрации ЭКГ. Для обработки используется фрагмент

временного ряда ЭКГ после достижения испытуемым стабильного физиологического состояния. Совокупности записей проверяются на стационарность и в дальнейшем рассчитывается уровень их согласованности посредством статистического, фазового и пространственного анализа. Результаты обработки данных сравнивают со стандартными значениями, описанными в медицинской практике.

В качестве прототипа выбран способ оценки функционального состояния сердечно-сосудистой системы по ритму сердца, который осуществляется путем регистрации электрокардиограммы (ЭКГ) до и во время дозированной нагрузочной пробы.

Для изучения вегетативной регуляции сердечно-сосудистой системы всем обследованным проводилась одновременная регистрация электрокардиограммы, фотоплетизмограммы с дистальной фаланги указательного пальца и механической записи дыхания в горизонтальном положении тела. Продолжительность каждой записи составляла 10 минут. В ходе работы была произведена обработка 15 записей фотоплетизмограмм и кардиоинтервалограмм условно здорового человека. На рисунке 5 виден пик, который соответствует значимой взаимосвязи на частоте, которая соответствует симпатической регуляции.

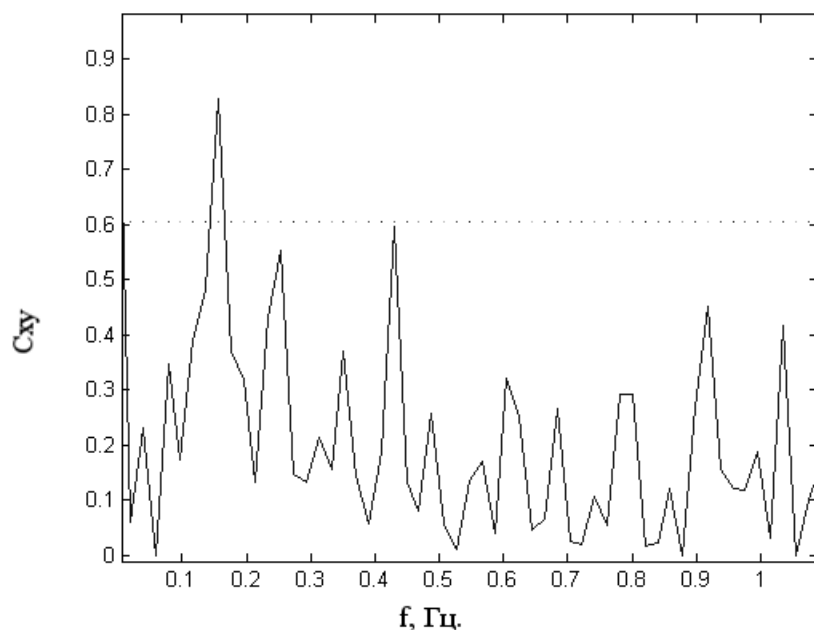
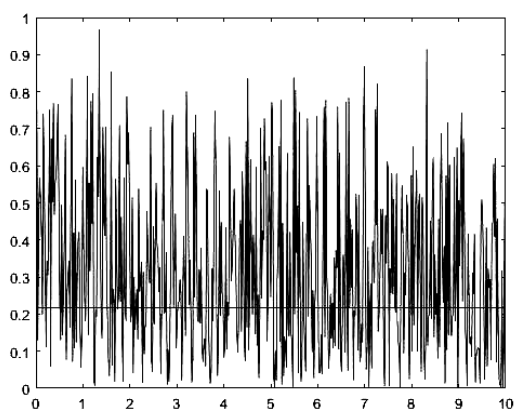


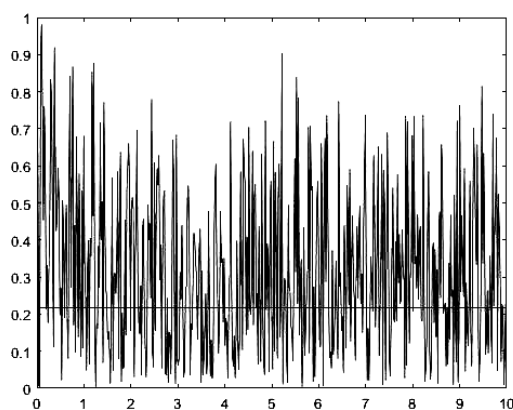
Рисунок 5 - Функция взаимной когерентности сигналов фотоплетизмограммы и кардиоинтервалограммы здорового человека

Результаты по взаимодействию в мозге. Изначально, данный метод использовался для анализа взаимодействия между низкочастотными колебаниями в сердечном ритме и кровенаполнением сосудистого русла. Значимое взаимодействие на частоте 0.1 Гц. В дальнейшем было решено проанализировать проявление взаимодействия на частоте, близкой к 0.1 Гц, между отведениями ЭЭГ.

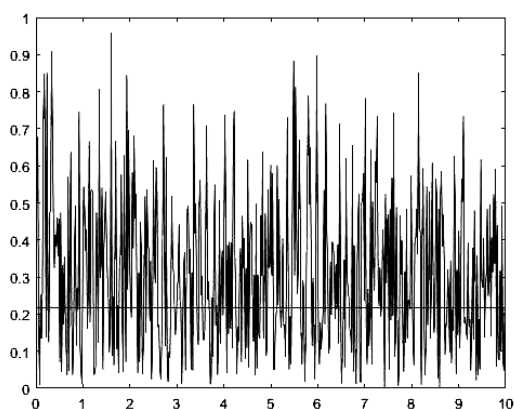
На рисунке 6 подставлена часть результатов обработки временных рядов различных отведений ЭЭГ с помощью метода взаимной когерентности.



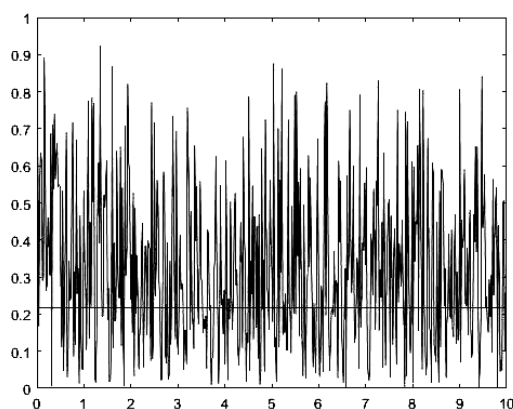
а



б



в



г

Рисунок 6 - Результаты обработки временных рядов: а) отведение F4-A2, б) отведение F7-A1, в) отведение F8-A2, г) отведение Fp1-A1, с помощью метода взаимной когерентности

Выводы. С помощью метода взаимной когерентности была проведена обработка эталонных сигналов модели однонаправленных осцилляторов Ван-дер-Поля, где была продемонстрирована работоспособность метода даже при наличии умеренных шумов.

Была произведена обработка реальных сигналов условно здорового человека (ЭКГ и ФПГ), а также сигналов ЭЭГ, где было обнаружено взаимодействие, значимость которого была подтверждена с помощью суррогатных данных.

Данные, снятые с пациента, были распределены по отведениям. В ходе работы была произведена обработка 21 пары отведений ЭЭГ каждого пациента. Характеристики, полученные в результате обработки данных, позволяют

сделать вывод о наличии взаимодействия на частоте 0.1 Гц. Из 63 полученных результатов, значимыми оказались 56, а незначимыми – 7.

По результатам работы имеются научные публикации:

1. Игнатов А.С., Хорев В.С. Использование взаимной когерентности для анализа взаимосвязи ритмов сердечно-сосудистой системы. Методы компьютерной диагностики в биологии и медицине – 2015: материалы Всероссийской молодёжной конференции / под ред. проф. Усанова – Саратов: Изд-во Саратовский источник, 2015. – 188-189с.
2. Игнатов А.С., Кондратьева О.Ю., Ревзина Е.М. Вероятностный подход для моделирования динамики изменения диагностических признаков. Методы компьютерной диагностики в биологии и медицине – 2015: материалы Всероссийской молодёжной конференции / под ред. проф. Усанова – Саратов: Изд-во Саратовский источник, 2015. – 135-137с.