

Министерство образования и науки РФ

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего профессионального образования «Казанский
(Приволжский) Федеральный университет»**

ИНСТИТУТ ФИЗИКИ

**КАФЕДРА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ФИЗИКИ И МОДЕЛИРОВАНИЯ
ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

Специальность: : 050100.62

Физика с дополнительной специальностью «информатика»

КУРСОВАЯ РАБОТА

**ИЗУЧЕНИЕ ЭФФЕКТОВ СИНХРОНИЗАЦИИ БИОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
СИГНАЛОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ**

Работа завершена

“ ____ ” _____ 2015 г. _____ (М.А.Зверева)

Работа допущена к защите:

Научный руководитель:

старший преподаватель

“ ____ ” _____ 2015 г. _____ (О.Ю.Панищев)

Заведующий кафедрой:

доктор физико-математических наук, доцент

“ ____ ” _____ 2015 г. _____ (А.В.Мокшин)

Казань 2015

Содержание	
Аннотация.....	3
Актуальность	3
Цели и задачи курсовой работы	4
Введение	5
Глава 1 Теоретическая часть	6
1.1Строение головного мозга	6
1.2 Исследование головного мозга.....	13
1.3 Формализм функций памяти для случая перекрестных корреляций	15
1.4. Коэффициент корреляции.....	20
Глава 2 Практическая часть	22
2.1 Экспериментальные данные	22
2.2 Анализ экспериментальных данных	24
2.2.1 Предварительная работа	24
2.2.2 Результаты	26
Заключение	29
Литература.....	30
Приложение	31

Аннотация

Объектом работы является человеческий мозг, в котором происходят стохастические процессы. Человеческий мозг представляет собой сложную систему. Обработывались данные ЭЭГ двух групп людей музыкантов и не музыкантов. Основная цель работы состоит в выявлении корреляции сигналов от электродов, при снятии данных ЭЭГ, а так же в нахождении областей, между которыми находилось отличие корреляции у этих двух групп. В ходе выполнения работы были вычислены коэффициенты корреляции между сигналами от электродов, которые показывают меру зависимости этих сигналов. Полученные результаты анализа коэффициента корреляции сигналов, при выполнении различных заданий у музыкантов и не музыкантов показали, что наблюдается отличие: корреляция между сигналами электродов различных частей головного мозга больше у группы не музыкантов. Данные результаты представляют большой интерес не только для физики, но и для медицины и нейрофизиологии.

Актуальность

Одной из важнейших задач современной прикладной науки является изучение механизмов восприятия различной информации человеческим мозгом. Поскольку мозг человека является крайне сложно устроенной системой с большим количеством взаимодействующих частей, ключевую роль в обработке и восприятии информации должны играть коллективные эффекты и явление частотно-фазовой синхронизации. Поэтому изучение и выявление указанных механизмов представляет крайне трудную задачу не только современной физиологии, но и вычислительной физики.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ:

Цель работы:

выявление различий во взаимодействии участков головного мозга у двух групп людей с различными когнитивными способностями (музыкантов и не музыкантов) при решении некоторых мыслительных задач.

Задачи:

1) изучить степень коррелированности сигналов, регистрируемых с различных участков коры головного мозга для исследуемых групп испытуемых;

2) определить степень и частотные характеристики фазовой синхронизации участков коры, которые демонстрируют наибольшие различия в степени коррелированности у рассматриваемых групп людей.

Введение

Значительным фактором, определяющим изменение сложных систем, является наличие объединенных эффектов, которые происходят в результате согласования или перераспределения установленных соединений между частями составного объекта. В большинстве случаев без учета групповых явлений оказывается невыполнимым осуществление правильного анализа работы указанных систем.

Имеются многообразные комбинации в изучении объединенных явлений сложных систем. Все они, в любом случае, реализованы на анализе исключительных особенностей связанных объектов: известные количественные и качественные связи между субъектами системы, единство динамики частей при окружающих воздействиях, своеобразных явлений синхронизации.

Одними из самых основных объектов, в которых наиболее наглядно должны проявляться согласованность и синхронность основного количества сигналов, является головной мозг человека. Он содержит ~ 100 млрд. нейронов, на каждый из которых приходится в среднем ~ 10000 связей.

На данный момент создано колоссальное количество способов, необходимых для изучения работы головного мозга и регистрации его активности. К ним относятся многочисленные томографические (ЯМРТ, МРТ, ЭПТ), рентгенологические методы, а также методы регистрации электромагнитной активности (ЭЭГ, МЭГ).

Электроэнцефалография (ЭЭГ) – один из самых простых и в то же время достаточно информативных методов, позволяющий исследовать динамику отдельных частей головного мозга в различных состояниях испытуемого, а также анализировать особенности функционирования участков мозга у людей, имеющих различные когнитивные способности.

Глава 1. Теоретическая часть

1.1. Строение головного мозга

Человеческий мозг – это главный отдел нервной системы, отвечающий за работу остальных «нижележащих» структур нервной системы. Нижележащими они названы как по расположению, так и по подчинённости. Головной мозг имеет несколько отделов. [6]

Передний мозг:

Передний мозг — передняя часть головного мозга, состоит из двух полушарий, в которые входят серое вещество коры, подкорковые ядра, а также нервные волокна, образующие белое вещество.

Передний мозг отвечает за обработку сигналов, которые формируют органы чувств. Средний мозг представляет собой из нервные волокна, связывающие между собой два других отдела. В заднем отделе находятся области, регулирующие координацию человека и его равновесие при движении мышц, а также нервы и пути между головным и спинным мозгом, которые проводят и подают импульсы в органы тела. В процессе эволюции сложных систем усложнилось строение головного мозга, изменилась его роль как важного центра обработки и реагирования на сигналы от органов чувств. У людей современного поколения 80% всего объёма мозга располагается в переднем отделе.

Конечный мозг:

Конечный мозг представляет собой мозговой пузырь, находящейся в передней части. Он состоит из хорошо высокоразвитых парных частей - правого и левого полушария и срединной части, которая их соединяет.

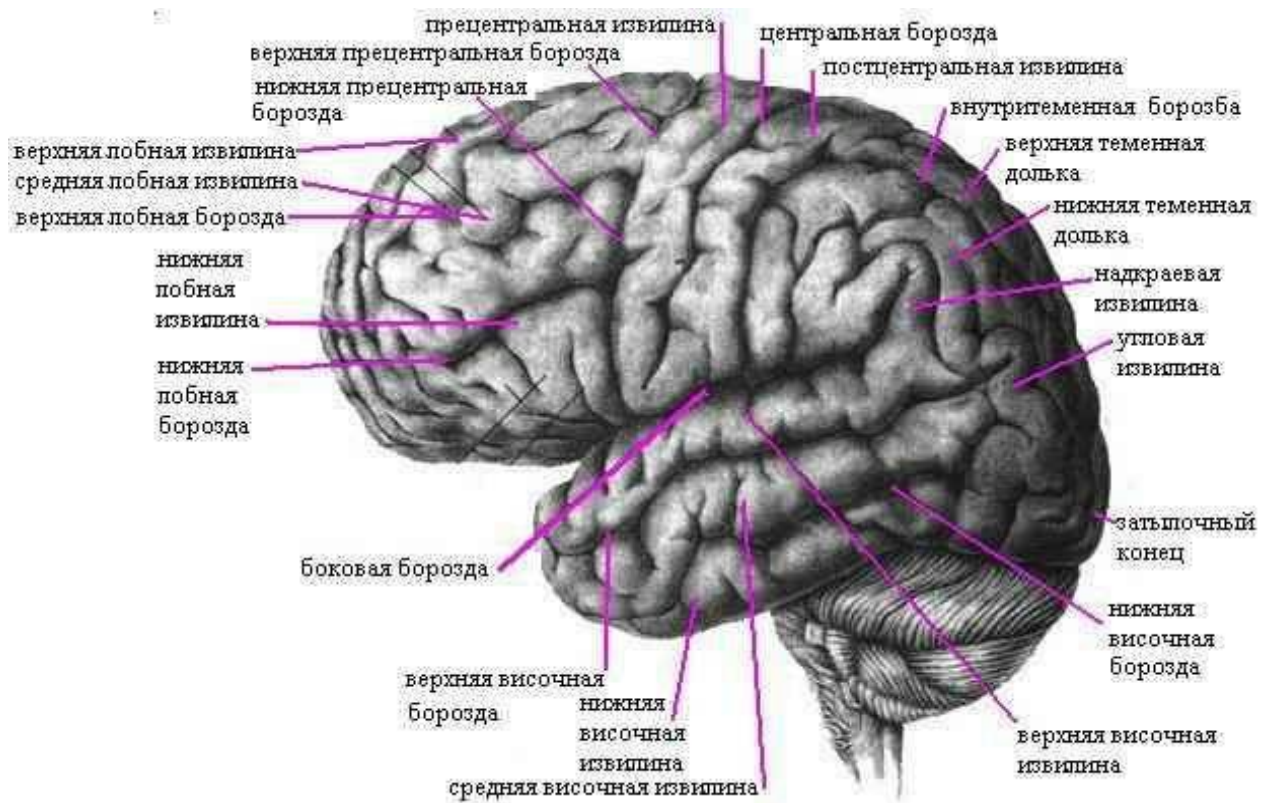


Рисунок 1. Борозды и извилины левого полушария большого мозга; верхнелатеральная поверхность.

Между левым и правым полушариями находится продольная щель, внутри которой располагается пластинка белой субстанции, представляющая собой волокна, связывающих два полушария - мозолистое тело. Внизу мозолистого тела лежит свод, состоящий из двух искривленных волокнистых жгутов, соединенных посередине. Жгуты, расходясь спереди и сзади, образуют столбы и ножки свода. Спереди от столбов свода находится передняя спайка. Между передней частью мозолистого тела и сводом натянута тонкая вертикальная пластинка мозговой ткани - прозрачная перегородка.

Полушарие состоит из серого и белого вещества. Оно имеет наибольшую часть с бороздами и извилинами, имеющий название “плащ”. “Плащ” лежит на поверхности серого вещества и коры полушарий. Внутри полушарий находится обонятельный мозг и совокупность серого вещества, называемые базальными ядрами. Две последние области являются самыми

старыми областями полушария эволюционного развития человечества. Полостями конечного мозга являются боковые желудочки.

По разновидности поверхности полушария делятся на три вида:

- 1) Верхнебоковая (верхнелатеральную). Имеет выпуклую форму, соответствующую своду черепа.
- 2) Серединная (медиальная). Имеет плоскую форму, которая обращена к такой же поверхности другого полушария.
- 3) Нижняя - неправильной формы.

Извилины, имея различные направления борозд, представляют собой запутанный рисунок. От выразительных индивидуальных колебаний сигналов головного мозга зависят величина и форма борозд. Однако существует несколько постоянных борозд, которые чётко выражены у всех и раньше других образуются в процессе развития зародыша. Их применяют для деления полушарий на большие отдельные участки, имеющие название – “доли”. В состав полушарий входит 5 долей: лобная, теменная, затылочная, височная и скрытая, или островка, расположенного внутри боковой борозды. Центральная борозда - это граница между лобной и теменной долями. Теменно-затылочная борозда - это граница между теменной и затылочной бороздами. Височная доля отделена боковой бороздой. Предцентральная борозда, отделяет предцентральную извилину, а две лобные борозды: верхняя и нижняя делят остальную часть лобной доли на верхнюю, среднюю и нижнюю лобные извилины.

Промежуточный мозг:

Промежуточный мозг состоит из трех отделов:

- 1) Таламическая область (областью зрительных бугров), которая расположена в дорсальных его участках;
- 2) Подталамическая область (гипоталамусом), составляющая вентральные отделы промежуточного мозга;

3) III желудочком, имеющим вид продольной (сагитальной) щели между правым и левым зрительными буграми и соединяющимися через межжелудочковое отверстие с боковыми желудочками.

Таламическая область состоит из таламуса (зрительный бугор), метаталамуса (медиальное и латеральное коленчатые тела) и эпителиамуса (шишковидное тело, поводки, спайки поводков и эпителиамическая спайка). Зрительные бугры входят в состав серого вещества, состоящее из совокупности нервных клеток - ядра зрительного бугра, между которыми находятся тонкие слои белого вещества. По причине того, что здесь происходит переход основной части чувствительных проводящих путей, зрительный бугор является подкорковым чувствительным центром, а его подушка – подкорковым зрительным центром. Зрительные бугры, благодаря специальным поводкам присоединяется к медиальной поверхности шишковидного тела - эпифиза. Гипоталамус, покидая вентральный отдел промежуточного мозга начинает участвовать в образовании дна третьего желудочка. Часть гипоталамуса составляет серый бугор с воронкой и гипофизом - железой внутренней секреции, зрительный тракт, зрительный перекрест, сосцевидные тела. Гипоталамус является продолжением ножек промежуточного мозга. Серое вещество располагается в виде ядер, которые вырабатывающие нейросекрет и транспортирующие его в гипофиз, регулируют его эндокринную работу. Таким образом, серое вещество – это ядра промежуточного мозга, которые относятся к подкорковым центрам чувствительности. Пространство промежуточного мозга состоит из ретикулярной формации, центров экстрапирамидной системы, вегетативных центров, контролирующие обмен веществ и нейросекретные ядра. Белое вещество промежуточного мозга представляет собой пути проводимости восходящего и нисходящего направлений, включающие в себя двустороннюю связь коры головного мозга со всеми его подкорковыми образованиями и центрами спинного мозга. А также к промежуточному мозгу можно отнести две железы внутренней секреции: гипофиз и

шишковидное тело. Они принимают участие вместе с ядрами гипоталамуса и эпифиза в образовании гипоталамо - гипофизарной и эпифизарной систем.

Средний мозг:

Средний мозг представляет собой дорсальный отдел крыши среднего мозга и вентрального - ножек мозга, между которыми имеется полость, называемая водопроводом мозга. В нижней части среднего мозга вентральной поверхности располагается передний край моста, верхний зрительный тракт и уровень сосцевидных тел. Если полушария головного мозга удалить, то на препарате головного мозга можно рассмотреть пластинку четверхолмия, а также крышу среднего мозга. На фундаменте головного мозга можно увидеть вторую часть среднего мозга, представляющие собой два толстых белых расходящихся пучка, переходящих в полушария большого мозга. Эти пучки называют ножками мозга. Внутренность, разделяющая правую и левую ножки мозга называется межножковой ямкой. Из межножковой ямки выходят корешки нервов, отвечающие за движение глаз. Перед глазодвигательным нервом проходит медиальный продольный пучок. Самое большое ядро среднего мозга – это красное ядро. Оно является одним из центральных координационных ядер экстрапирамидной системы. Около водопровода располагается сетчатая форма среднего мозга. На поперечном разрезе можно разглядеть черепное вещество, оно делит ножку мозга на дорсальный и вентральный отделы. Дорсальным отделом является покрывка среднего мозга. Вентральный отдел - основание ножек мозга. На поверхности среднего мозга располагаются ядра среднего мозга и проходят восходящие проводящие пути. Вентральные отделы ножек мозга целиком состоят из белого вещества, в которых проходят нисходящие проводящие пути. Функции среднего мозга зависят от:

- 1) Центров слуха и зрения.
- 2) От головных нервов, которые отвечают за снабжение нервами поперечнополосатых и гладких мышц глазного яблока.

3) От экстрапирамидной системы, отвечающей сокращение мышц тела во время двигательных функций.

Через средний мозг проходят нисходящие (двигательные) и восходящие (чувствительные) пути.

Задний мозг:

Задний мозг включает в себя мозговой мост и мозжечок. Он начинается из четвертого мозгового пузыря.

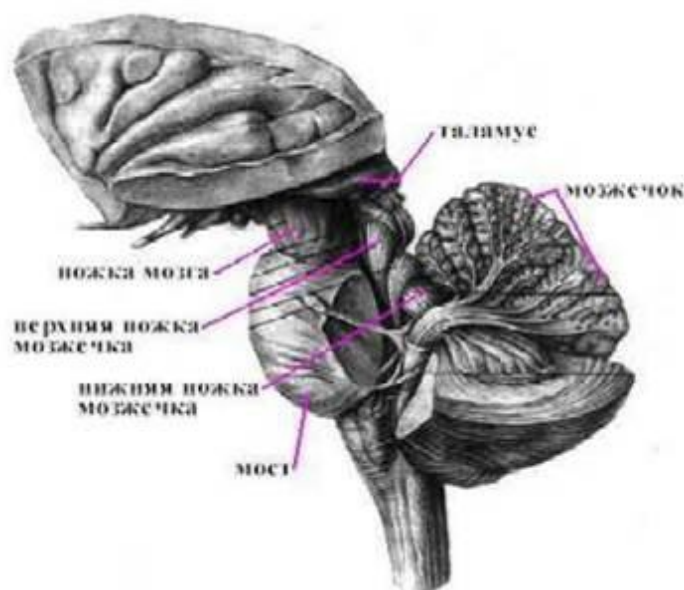


Рисунок 2. Ствол головного мозга и мозжечок; вид сбоку

Мост снизу находится по соседству с продолговатым мозгом, сверху он направляется в ножки мозга. Боковые его отделы моста образуют средние ножки мозжечка.

Спереди моста находится совокупность серого вещества, называемые собственными ядрами моста. В задней (дорсальной) части располагаются ядра верхней оливы, имеющие сетчатую форму и ядра пяти - восьми пар черепных нервов, выходящих из основания мозга скраю от моста и позади

него на разделении мозжечка и продолговатого мозга. Белое вещество, находящееся в передней части моста представляет собой горизонтально бегущие волокна, держащие путь в средние ножки мозжечка. Они проникают сильными вертикальными пучками волокон пирамидных путей, образуют пирамиды продолговатого мозга, идущих в спинной мозг. Задняя часть (покрышка) пронизана восходящими и нисходящими системами волокон.

Мост:

Мост мозга - это толстая возвышенность белого цвета, которая находится по соседству с продолговатым мозгом сзади и с ножками мозга спереди. Снаружи его не видно, из-за того, что находится под мозжечком. Мост образует дно четвертого желудочка - ромбовидной полости. Сбоку от моста находятся средние мозжечковые ножки. В центре моста имеется ямка, в которой лежит основная артерия головного мозга, называемая базилярной. Мост имеет сложное внутренне строение: это вентральная и дорсальная части, между которыми находится трапециевидное тело. Мост зависит от общего строения нервной системы человеческого организма и состоит из серого и белого вещества. Трапециевидное тело представляет собой слуховые волокна. Волокна слухового пути проходят через мост в головной мозг. Пространство трапециевидного тела имеет ядро этого слухового пути - дорсальное ядро трапециевидного тела. На вентральной стороне **моста мозга** находятся продольные и поперечные волокна, а среди них разбросаны собственные ядра моста. Продольные волокна относятся к пирамидным путям, а поперечные волокна идут к коре мозжечка. Можно сделать вывод, что мост и мозжечок выполняют функцию координации движения и проводимости слуховых сигналов. От развития коры головного мозга зависит развитие моста и мозжечка. Вот почему у низших позвоночных моста нет, а у человека он развит достаточно хорошо.

Мозжечок:

По габаритам мозжечок представляет собой крупную часть заднего мозга. Большая часть задней черепной заполнена мозжечком. Мозжечок имеет верхнюю и нижнюю поверхности, которые разделены между собой передним и задним краями. Верхняя поверхность мозжечка на целом мозге покрыта затылочными долями полушарий большого мозга и отделена от них глубокой поперечной щелью большого мозга. Червь это непарная срединная часть между полушариями. В поперечной борозде червь расчленен на мелкие извилины. Червь, состоящий из двух полушарий изрезан совокупностью горизонтально и параллельно идущих крошечных бороздок, между ними находятся продолговатые и узкие извилины мозжечка. Мозжечок делится на группу извилин, состоящих из глубоких борозд. В состав полушария мозжечка и червя входит белое вещество, которое находится в глубине тонкой прослойки серого вещества коры мозжечка, окаймленного белым веществом по краям. Кора мозжечка состоит из трех слоёв нервных клеток. На разрезе белое вещество мозжечка состоит также из трех слоев нервных клеток и имеет вид ветвистого дерева. В белом веществе прослеживаются отдельные парные скопления нервных клеток, которые образуют зубчатое, пробковидное, шаровидное ядра мозжечка и ядра шатра. В мозговом стволе отдел, который следует после моста, называется перешейком ромбовидного мозга, в состав которого входят верхние ножки мозжечка, верхнего мозгового паруса и треугольной петли.[10]

1.2. Исследования головного мозга

Электроэнцефалография (ЭЭГ)— способ регистрации колебаний электрических потенциалов мозга, улавливаемых с помощью специальных приборов - электроэнцефалографов. С помощью укрепляемых на коже головы электродов регистрируются отводимые биотоки мозга, которые отображаются на бумаге или экране компьютера. Анализ ЭЭГ дает возможность определить волны, отличающиеся по частоте и амплитуде колебаний, форме, регулярности и выраженности на внешние звуковые или

световые раздражители. ЭЭГ назначается при симптомах эпилептических припадков, задержке психического или речевого развития, травмах и др. Обследование требует точного наложения электродов на кожу волосистой части головы и спокойного поведения пациента в течение 40 минут, поэтому у детей до 3 лет ЭЭГ обычно проводится на фоне физиологического сна. Современное оборудование позволяет проводить ЭЭГ-мониторинг — длительную запись биотоков головного мозга у больных с эпилепсией (от нескольких часов до суток).

Нейросонография (НСГ) — ультразвуковое исследование головного мозга детей раннего возраста, при наличии открытого большого родничка. Через «акустическое окно» — большой родничок — врач при помощи ультразвукового датчика исследует строение головного мозга, размеры ликворопроводящей системы, определяет параметры кровотока. Этот безопасный и достаточно информативный способ исследования дает возможность вовремя определить патологические изменения в головном мозге ребенка и оценить эффективность лечения во время динамического наблюдения. НСГ не требует специальной подготовки к обследованию, однако перед исследованием рекомендуется успокоить ребенка или проводить НСГ во время сна.

Компьютерная томография головного и спинного мозга (КТ) — исследование мозга устройством, которое сканирует и измеряет интенсивность потока рентгеновских лучей после их прохождения через мозговую ткань, позволяет получать изображение срезов головного и спинного мозга в горизонтальной плоскости на различном уровне. Сканирующее устройство совершает оборот вокруг головы исследуемого с величиной шага в 1 градус. Полученная информация передается в компьютер, который быстро производит вычисления. На основании регистрации мельчайших изменений в плотности мозговой ткани можно выявить характер и месторасположение различных патологических

образований (кровоизлияний, опухолей, полостей, воспалительных очагов, кальцификатов), обнаружить врожденные нарушения развития, степень расширения ликворосодержащей системы головного мозга.

Исследование спинно-мозговой жидкости (ликвора) проводится в условиях стационара. Для этого делается прокол спинно-мозгового канала через мягкие ткани в области поясницы (люмбальная пункция) и отбирается 2-5 мл жидкости для проведения анализа. Прокол совершенно безопасен и не дает, никаких осложнений, спинной мозг при этом не повреждается. Подозрение на менингит является обязательным показанием для проведения люмбальной пункции и исследования ликвора.[10]

1.3 Формализм функций памяти для случая перекрестных корреляций

Представим временную динамику исследуемых процессов в виде дискретных временных серий x_j, y_j некоторых случайных величин X, Y :

$$\begin{aligned} X &= \{x(T), x(T + \tau), x(T + 2\tau), \dots, x(T + (N - 1)\tau)\}, \\ Y &= \{y(T), y(T + \tau), y(T + 2\tau), \dots, y(T + (N - 1)\tau)\} \end{aligned} \quad (1)$$

где T – начальный момент времени, $(N - 1)\tau$ – общее время регистрации сигнала, τ – временной шаг дискретизации.

Средние значения, флуктуации, дисперсии и относительные дисперсии для случайных величин X, Y можно записать следующим образом:

$$\begin{aligned} \langle X \rangle &= \frac{1}{N} \sum_{j=0}^{N-1} x(T + j\tau), \quad x_j = x(T + j\tau), \quad \delta x_j = x_j - \langle X \rangle, \quad \sigma_x^2 = \frac{1}{N} \sum_{j=0}^{N-1} \delta x_j^2, \\ \langle Y \rangle &= \frac{1}{N} \sum_{j=0}^{N-1} y(T + j\tau), \quad y_j = y(T + j\tau), \quad \delta y_j = y_j - \langle Y \rangle, \quad \sigma_y^2 = \frac{1}{N} \sum_{j=0}^{N-1} \delta y_j^2. \end{aligned}$$

Нормированная кросскорреляционная функция (ККФ), описывающая вероятностную связь между двумя случайными величинами X и Y можно записать в следующем виде:

$$\begin{aligned} c(t) &= \frac{1}{(N - m)\sigma_x \sigma_y} \sum_{j=0}^{N-m-1} \delta x_j \delta y_{j+m} = \frac{1}{(N - m)\sigma_x \sigma_y} \sum_{j=0}^{N-m-1} \delta x(T + j\tau) \delta y(T + (j + m)\tau), \quad (2) \\ t &= m\tau, \quad 1 \leq m \leq N - 1, \end{aligned}$$

Функция $c(t)$ удовлетворяет условиям нормировки и ослабления корреляций:

$$\lim_{t \rightarrow 0} c(t) = 1; \quad \lim_{t \rightarrow \infty} c(t) = 0.$$

Представим набор флуктуаций $\delta x_j = \delta x(T + j\tau)$, $\delta y_j = \delta y(T + j\tau)$, где $j = 0, 1, \dots, N-1$ в виде k -компонентных векторов начального состояния в фазовом пространстве векторов состояния:

$$\begin{aligned} \mathbf{A}_k^0 &= \mathbf{A}_k^0(0) = \{\delta x_0, \delta x_1, \dots, \delta x_{k-1}\} = \{\delta x(T), \delta x(T + \tau), \dots, \delta x(T + (k-1)\tau)\}, \\ \mathbf{B}_k^0 &= \mathbf{B}_k^0(0) = \{\delta y_0, \delta y_1, \dots, \delta y_{k-1}\} = \{\delta y(T), \delta y(T + \tau), \dots, \delta y(T + (k-1)\tau)\}, \end{aligned} \quad (3a)$$

Где $k = N - 1 - m$ - размерность вектора состояния. k -компонентные векторы конечного состояния $\mathbf{A}_{m+k}^m = \mathbf{A}_{m+k}^m(t)$, $\mathbf{B}_{m+k}^m = \mathbf{B}_{m+k}^m(t)$ образуются путем сдвига на интервал $t = m\tau$ по дискретной временной шкале:

$$\begin{aligned} \mathbf{A}_{m+k}^m &= \mathbf{A}_{m+k}^m(t) = \{\delta x(T + m\tau), \delta x(T + (m+1)\tau), \dots, \delta x(T + (m+k-1)\tau)\} = \{\delta x_m, \delta x_{m+1}, \delta x_{m+2}, \dots, \delta x_{m+k-1}\}, \\ \mathbf{B}_{m+k}^m &= \mathbf{B}_{m+k}^m(t) = \{\delta y(T + m\tau), \delta y(T + (m+1)\tau), \dots, \delta y(T + (m+k-1)\tau)\} = \{\delta y_m, \delta y_{m+1}, \delta y_{m+2}, \dots, \delta y_{m+k-1}\}, \end{aligned} \quad (3b)$$

Эти векторы также могут быть получены путем многократного действия эволюционных операторов $U_X(t + \tau, t)$ и $U_Y(t + \tau, t)$ на векторы начального состояния:

$$\begin{aligned} \mathbf{A}_{m+k}^m(t) &= U_X(T + m\tau, T) \mathbf{A}_k^0(0), \\ \mathbf{B}_{m+k}^m(t) &= U_Y(T + m\tau, T) \mathbf{B}_k^0(0). \end{aligned} \quad (3c)$$

Воспользуемся выражением для скалярного произведения векторов:

$$\langle \mathbf{A}_k^0 | \mathbf{B}_{m+k}^m \rangle = \sum_{i=0}^{k-1} \mathbf{A}_i^0 | \mathbf{B}_{m+i}^m.$$

Используя соотношения (2), (3a) – (3c), получаем нормированную ККФ $c(t)$ как скалярное произведение векторов начального $\mathbf{A}_k^0(0)$ и конечного $\mathbf{B}_{m+k}^m(t)$ состояния:

$$c(t) = \frac{\langle \mathbf{A}_k^0 | \mathbf{B}_{m+k}^m \rangle}{\langle \mathbf{A}_k^0 | \mathbf{B}_k^0 \rangle} = \frac{\langle \mathbf{A}_k^0 U_Y(T + m\tau, T) \mathbf{B}_k^0 \rangle}{\langle \mathbf{A}_k^0 | \mathbf{B}_k^0 \rangle} = \frac{\langle \mathbf{A}_k^0(0) | \mathbf{B}_{m+k}^m(t) \rangle}{\langle \mathbf{A}_k^0(0) | \mathbf{B}_k^0(0) \rangle}. \quad (4)$$

Запишем конечно-разностное уравнение Лиувилля для векторов состояния (см. (3b)):

$$\frac{\Delta}{\Delta t} \mathbf{B}_{m+k}^m(t) = i \hat{L}(t, \tau) \mathbf{B}_{m+k}^m(t) \quad (5)$$

Введем оператор проектирования для линейного фазового пространства векторов состояния:

$$\Pi = \frac{|\mathbf{B}_k^0(0)\rangle\langle\mathbf{A}_k^0(0)|}{\langle\mathbf{A}_k^0(0)|\mathbf{B}_k^0(0)\rangle}, \quad \Pi^2 = \Pi, \quad \mathbf{P} = 1 - \Pi, \quad \mathbf{P}^2 = \mathbf{P}, \quad \Pi\mathbf{P} = \mathbf{P}\Pi = 0. \quad (6)$$

Исходная ККФ (см. (4)) может быть получена путем проектирования вектора конечного состояния $\mathbf{B}_{m+k}^m(t)$ на вектор начального состояния $\mathbf{B}_k^0(0)$:

$$\langle\mathbf{P}\mathbf{B}_{m+k}^m(t)|\rangle = \langle\mathbf{B}_k^0(0)|\rangle \frac{\langle\mathbf{A}_k^0(0)|\mathbf{B}_{m+k}^m(t)\rangle}{\langle\mathbf{A}_k^0(0)|\mathbf{B}_k^0(0)\rangle} = \langle\mathbf{B}_k^0(0)|\rangle c(t).$$

Проекционные операторы Π и \mathbf{P} расщепляют пространство векторов состояния размерностью k на два взаимно ортогональных подпространства:

$$\mathbf{B}(k) = \mathbf{B}'(k) + \mathbf{B}''(k), \quad \mathbf{B}'(k) = \Pi\mathbf{B}(k), \quad \mathbf{B}''(k) = \mathbf{P}\mathbf{B}(k), \quad \mathbf{B}_{m+k}^m(t) \in \mathbf{B}(k).$$

В итоге уравнение Лиувилля (6) расщепляется на два уравнения в соответствующих ортогональных подпространствах:

$$\begin{cases} \frac{\Delta\mathbf{B}'(t)}{\Delta t} = i\hat{L}_{11}\mathbf{B}'(t) + i\hat{L}_{12}\mathbf{B}''(t), \\ \frac{\Delta\mathbf{B}''(t)}{\Delta t} = i\hat{L}_{21}\mathbf{B}'(t) + i\hat{L}_{22}\mathbf{B}''(t). \end{cases} \quad (8a)$$

$$(8b)$$

Здесь $\hat{L}_{ij} = \Pi_i \hat{L} \Pi_j$, $i, j = 1, 2$, $\Pi_1 = \Pi$, $\Pi_2 = \mathbf{P}$, представляют собой матричные элементы квазиоператора Лиувилля:

$$\hat{L} = \hat{L}_{11} + \hat{L}_{12} + \hat{L}_{21} + \hat{L}_{22}$$

Операторы \hat{L}_{ij} действуют следующим образом:

$$\hat{L}_{11} \text{ — из } \mathbf{B}' \text{ в } \mathbf{B}', \quad \hat{L}_{12} \text{ — из } \mathbf{B}'' \text{ в } \mathbf{B}', \quad \hat{L}_{21} \text{ — из } \mathbf{B}' \text{ в } \mathbf{B}'', \quad \hat{L}_{22} \text{ — из } \mathbf{B}'' \text{ в } \mathbf{B}'',$$

Решая уравнение (8b) и подставляя полученные значения в уравнение (8a), получаем замкнутое конечно-разностное уравнение для исходной ККФ:

$$\frac{\Delta c(t)}{\Delta t} = \lambda_1^{XY} a(t) - \tau \Lambda_1^{XY} \sum_{j=0}^{m-1} M_1^{XY}(j\tau) c(t - j\tau). \quad (9)$$

Здесь λ_1^{XY} — собственное значение квазиоператора Лиувилля \hat{L} , Λ_1^{XY} — релаксационный параметр, $M_1^{XY}(j\tau)$ — нормированная функция памяти первого порядка:

$$\lambda_1^{XY} = \frac{\langle \mathbf{A}_k^0(0) \hat{L} \mathbf{B}_k^0(0) \rangle}{\langle \mathbf{A}_k^0(0) \mathbf{B}_k^0(0) \rangle}, \quad \Lambda_1^{XY} = \frac{\langle \mathbf{A}_k^0(0) \hat{L}_{12} \hat{L}_{21} \mathbf{B}_k^0(0) \rangle}{\langle \mathbf{A}_k^0(0) \mathbf{B}_k^0(0) \rangle},$$

$$M_1^{XY}(j\tau) = \frac{\langle \mathbf{A}_k^0(0) \hat{L}_{12} \{1 + i\tau \hat{L}_{22}\}^j \hat{L}_{21} \mathbf{B}_k^0(0) \rangle}{\langle \mathbf{A}_k^0(0) \mathbf{B}_k^0(0) \rangle}, \quad M_1^{XY}(0) = 1 \quad (10)$$

Действуя операторами Π_n и P_n на дискретное уравнение (6), получим цепочку связанных немарковских конечно-разностных кинетических уравнений:

$$\frac{\Delta M_n^{XY}(t)}{\Delta t} = \lambda_{n+1}^{XY} M_n^{XY}(t) - \tau \Lambda_{n+1}^{XY} \sum_{j=0}^{m-1} M_{n+1}^{XY}(j\tau) M_n^{XY}(t - j\tau). \quad (11)$$

Воспользуемся процедурой ортогонализации Грамма-Шмидта $\langle \mathbf{W}_n^X, \mathbf{W}_m^Y \rangle = \delta_{n,m} \langle \mathbf{W}_n^X \mathbf{W}_n^Y \rangle$ (где $\delta_{n,m}$ – символ Кронекера) для более компактной записи:

$$\mathbf{W}_0^X = \mathbf{A}_k^0(0), \quad \mathbf{W}_1^X = (i\hat{L} - \lambda_1^{XY}) \mathbf{W}_n^X, \quad \mathbf{W}_2^X = (i\hat{L} - \lambda_2^{XY}) \mathbf{W}_1^X - \Lambda_1^{XY} \mathbf{W}_0^X, \dots, \mathbf{W}_n^X = (i\hat{L} - \lambda_n^{XY}) \mathbf{W}_{n-1}^X - \Lambda_{n-1}^{XY} \mathbf{W}_{n-2}^X - \dots,$$

$$\mathbf{W}_0^Y = \mathbf{B}_k^0(0), \quad \mathbf{W}_1^Y = (i\hat{L} - \lambda_1^{XY}) \mathbf{W}_n^Y, \quad \mathbf{W}_2^Y = (i\hat{L} - \lambda_2^{XY}) \mathbf{W}_1^Y - \Lambda_1^{XY} \mathbf{W}_0^Y, \dots, \mathbf{W}_n^Y = (i\hat{L} - \lambda_n^{XY}) \mathbf{W}_{n-1}^Y - \Lambda_{n-1}^{XY} \mathbf{W}_{n-2}^Y - \dots.$$

Тогда собственные значения λ_{n+1} квазиоператора Лиувилля и релаксационные параметры Λ_{n+1} в (11) примут вид:

$$\lambda_{n+1}^{XY} = i \frac{\langle \mathbf{W}_n^X \hat{L} \mathbf{W}_n^Y \rangle}{\langle \mathbf{W}_n^X \mathbf{W}_n^Y \rangle}, \quad \Lambda_{n+1}^{XY} = i \frac{\langle \mathbf{W}_{n+1}^X \mathbf{W}_{n+1}^Y \rangle}{\langle \mathbf{W}_n^X \mathbf{W}_n^Y \rangle}.$$

Нормированные функции памяти в (11) примут вид:

$$M_n^{XY}(t) = \frac{\langle \mathbf{W}_n^X \{1 + i\tau \hat{L}_{22}\}^m \mathbf{W}_n^Y \rangle}{\langle \mathbf{W}_n^X \mathbf{W}_n^Y \rangle}.$$

Время релаксации исходной ККФ и функций памяти n -го порядка определяются следующим образом:

$$\tau_c = \Delta t \sum_{j=0}^{N-1} c(t_j), \dots, \tau_{M_n^{XY}} = \Delta t \sum_{j=0}^{N-1} M_n^{XY}(t_j). \quad (12)$$

Тогда множество безразмерных чисел определит статистический спектр параметра немарковости:

$$\{\varepsilon_i^{XY}\} = \{\varepsilon_1^{XY}, \varepsilon_2^{XY}, \dots, \varepsilon_n^{XY}\}, \quad \varepsilon_1^{XY} = \frac{\tau_c}{\tau_{M_1^{XY}}}, \quad \varepsilon_2^{XY} = \frac{\tau_{M_1^{XY}}}{\tau_{M_2^{XY}}}, \dots, \varepsilon_n^{XY} = \frac{\tau_{M_n^{XY}}}{\tau_{M_{n+1}^{XY}}}.$$

(13)

Таким образом величина ε_n^{XY} характеризует сопоставление времен релаксации функций памяти M_n^{XY} и M_{n+1}^{XY} . Параметр немарковости позволяет разделить все стохастические процессы на марковские, немарковские и квазимарковские. Спектр параметра немарковости определяет стохастические особенности ККФ.

В данной работе мы используем частотно-зависимый случай параметра немарковости

$$\varepsilon_i^{XY} = \left\{ \frac{\mu_{i-1}^{XY}(\nu)}{\mu_i^{XY}(\nu)} \right\}^{\frac{1}{2}}.$$

(14)

Здесь $\mu_i^{XY}(\nu)$ – частотный спектр мощности i -й функции памяти:

$$\mu_0^{XY}(\nu) = \left| \Delta t \sum_{j=0}^{N-1} c(t_j) \cos 2\pi \nu t_j \right|^2, \quad \mu_1^{XY}(\nu) = \left| \Delta t \sum_{j=0}^{N-1} M_1(t_j) \cos 2\pi \nu t_j \right|^2, \dots, \mu_i^{XY}(\nu) = \left| \Delta t \sum_{j=0}^{N-1} M_i(t_j) \cos 2\pi \nu t_j \right|^2.$$

Метод диагностики и анализа болезни Паркинсона опирается на значение первой точки параметра немарковости на нулевой частоте:

$$\varepsilon_1^{XY}(\nu=0) = \varepsilon_1^{XY}(0) = \left\{ \frac{\mu_0^{XY}(0)}{\mu_1^{XY}(0)} \right\}^{\frac{1}{2}}.$$

(15)

Используя первую точку параметра немарковости $\varepsilon_1^{XY}(\nu)$ мы можем детально рассмотреть частотное поведение исходной ККФ и функции памяти первого порядка.

Представленные выше немарковские конечно-разностные кинетические уравнения (11) представляют обобщение известной в статистической физике кинетической теории Цванцига-Мори на случай кросскорреляций в дискретных негамильтоновых статистических сложных системах. Статистическая теория дискретных немарковских случайных

процессов дает возможность выявить эффекты марковости и немарковости, эффекты статистической памяти, эффекты случайности и периодичности, эффекты динамической перемежаемости релаксационных режимов в исходной временной серии экспериментальных данных. В данной работе проводится обобщение данной теории на случай изучения кросскорреляций в сложных системах. [8]

1.4. Коэффициент корреляции

Для оценки степени коррелированности 2 случайных величин, в математической статистике вводится понятие коэффициент корреляции. Коэффициентом корреляции $k(X,Y)$ 2 случайных величин X и Y , дисперсии которых существуют и отличны от нуля, называется число

$$k(X,Y) = \frac{\text{cov}(X,Y)}{\sigma_X \sigma_Y},$$

где $\text{cov}(X,Y)$ есть ковариация случайных величин X и Y ; σ_X, σ_Y - их среднеквадратические отклонения. Коэффициент корреляции обладает следующими основными свойствами:

1. Если случайные величины X и Y *независимы*, то $k(X,Y)=0$.
Обратное утверждение в общем случае не верно.

2. $|k(X,Y)| \leq 1$

3. Говорят, что X и Y *положительно коррелированы*, если $k(X,Y) > 0$, *отрицательно коррелированы*, если $k(X,Y) < 0$ и *некоррелированы*, если $k(X,Y) = 0$.

Смысл знака коэффициента корреляции состоит в том, что при $k(X,Y) > 0$, возрастанию значений случайной величины X соответствует увеличение значений Y , а при $k(X,Y) < 0$ увеличению одной случайной

величины соответствует уменьшение другой. Если $|k(X,Y)| < 0.5$, то говорят что X и Y слабокоррелированы, а при $|k(X,Y)| \geq 0.5$ имеет место сильная корреляция между данными случайными величинами.

Глава 2. Практическая часть

2.1 Физиология человека

Нервная система контролирует деятельность всех систем и органов человеческого организма, определяя их функциональную целостность, и организует связь организма как целого с окружающей средой .

Структурной единицей нервной системы - нервная клетка с отростками, которая носит название “нейрон”. Нервная система состоит из совокупности нейронов, которые взаимодействуют друг с другом при помощи дополнительных установок - синапсов. По строению и назначению различают три типа нейронов:

- 1) рецепторные, или чувствительные;
- 2) вставочные, замыкательные (кондукторные);
- 3) эффекторные, двигательные нейроны, от которых импульс переходит к рабочим органам (мышцам, железам).

Нервную систему можно разделить на два больших отдела - соматическую, или анимальную, нервную систему и вегетативную, или автономную, нервную систему. Соматическая нервная система выполняет в основном функции соединения организма с внешней средой, доставляя чувствительность и движение, обуславливая сжатие скелетной мускулатуры. Так как функции движения и чувствования относятся к животным и отличают их от растений, эта часть нервной системы имеет название анимальной (животной). [9]

Вегетативная нервная система является общей как для животных так и растений (обмен веществ, дыхание, выделение и др.), то есть по-другому ее можно назвать растительной (вегетативная - растительная). Обе системы между собой имеют общие свойства, но вегетативная нервная система является более самостоятельной и не зависит от воли человека, поэтому ее также называют автономной нервной системой. Ее можно разделить на две части: симпатическую и парасимпатическую.

Нервная система имеет центральную часть - это головной и спинной мозг и периферическую, которая состоит из нервов, являющихся отростками головного и спинного мозга. Мозг состоит из серого и белого вещества.

Серое вещество – совокупность нервных клеток. Некоторые небольшие скопления серого вещества называются ядрами.

Белое вещество состоит из нервных волокон, снаружи покрытые миелиновой оболочкой. Нервные волокна в головном и спинном мозге имеют функцию проводимости.

Периферические нервы в отличие от того, из каких волокон (чувствительных либо двигательных) имеют тип: чувствительных, двигательных или смешанных. Нейроны, у которых отростки имеют чувствительные нервы, находятся в нервных узлах снаружи мозга.

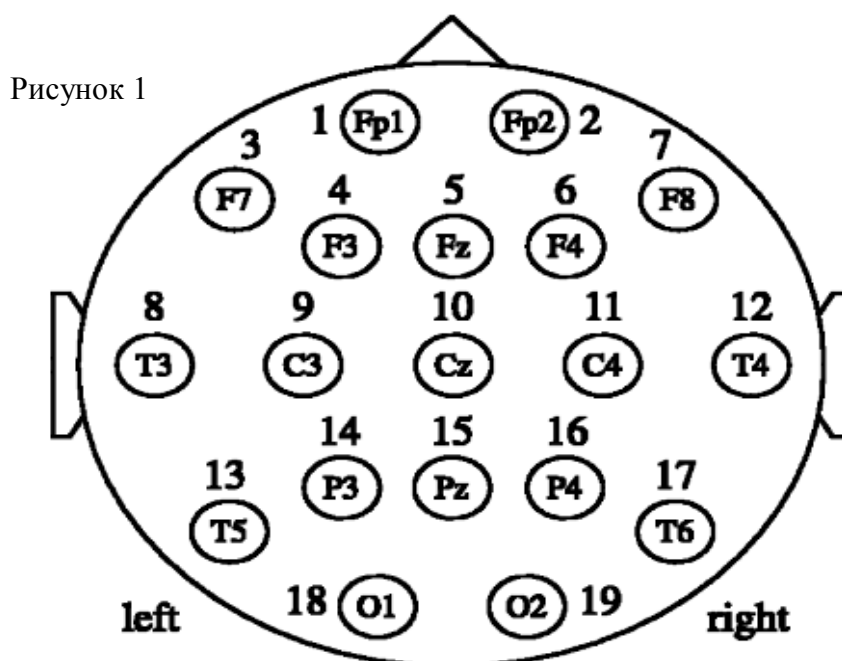
И.П. Павлов установил, что центральная нервная система воздействует на органы тремя способами:

- 1) пусковой, вызывающий или прекращающий действие органа (сокращение мышцы, секрецию железы);
- 2) сосудодвигательный, который изменяет ширину просвета сосудов и регулирует приток крови к органам;
- 3) трофический, ускоряющий или замедляющий обмен веществ и потребление питательных веществ и кислорода.

Центральная нервная система анализирует чувствительную информацию, которая проявляется при раздражении специфических рецепторов и в связи с этим образуются определенные передающие импульсы, которые вызывают изменения в работе органов и систем организма. [7]

2.2 Экспериментальные данные

Электроэнцефалография - метод изучения работы головного мозга живых организмов. Сформированный записью биоэлектрической активности определенных зон, областей, долей мозга. Электроэнцефалография используется в современной науке - нейрофизиологии, а также в неврологии и психиатрии. Работа мозга иллюстрирует электрическую активность, которую можно зарегистрировать в виде электроэнцефалограмм (ЭЭГ). ЭЭГ дает некую единую запись функционирования мозга. Электрическая активность мозга достаточно мала и выражается в миллионных долях вольта. Её можно зафиксировать, используя специальные высокочувствительных приборов и усилителей, которые называются электроэнцефалографами. Фиксация ЭЭГ сигналов происходит наложением на голову металлических пластинок (электродов), которые соединены между собой проводами с входом установки. На выходе строится графическое изображение колебаний разности биоэлектрических потенциалов мозга (рисунок). [1]



В данной работе были использованы ЭЭГ, которые сняли с двух групп людей – музыкантов (М) и не музыкантов (Н) со средним возрастом 25,5 лет, которые проделывали определенные задачи:

- прослушивание классической музыки
- прослушивание нейтрального текста
- выполнение мысленного пространственного вращения

трёхмерной фигуры (далее выполнение умственной задачи)

В каждой группе имелось по 10 человек. Глаза у испытуемых во время совершения каждой задачи были закрыты. ЭЭГ была записана в течение 90 секунд с частотой дискретизации 128 Гц для 19 ЭЭГ электродов согласно международной системе 10-20 (рисунок 1). [2]

2.2. Анализ экспериментальных данных

2.2.1 Предварительная работа

В данной работе исследуется взаимосвязь между различными участками головы во время выполнения высших познавательных функций. Наша цель заключалась в проверке существования данной взаимосвязи у двух различных групп – людей с музыкальными способностями и людей не имеющих такового.

На первом этапе мы подсчитали коэффициенты корреляции для всех людей и для всех комбинаций сенсоров с целью выявления особенностей взаимодействия областей коры у музыкантов и нем музыкантов при выполнении рассматриваемых когнитивных задач. Результаты усреднили по каждой группе. В итоге получили две матрицы средних значений коэффициентов корреляции для каждой задачи. Взяв их отношение, можно определить те пары сенсоров (области коры головного мозга), взаимодействие которых у музыкантов и нем музыкантов различается сильнее всего. При этом разброс в частотах указанных всплесков не превышает 3-5 Гц. (Если взять все низкочастотные всплески, то частоты их будут отличаться больше, чем на 5 Гц)

На основе данных обеих групп, полученных при помощи ЭЭГ, были подсчитаны средние значения коэффициентов корреляции для каждой группы и в итоге получено 6 матриц – по три на каждую группу. Затем были найдены пары электродов, для которых имеют место наибольшие различия во взаимодействии: 2_18, 7_19, 1_19, 7_13, 1_12, 7_9, 8_17 (рис 2). [3]

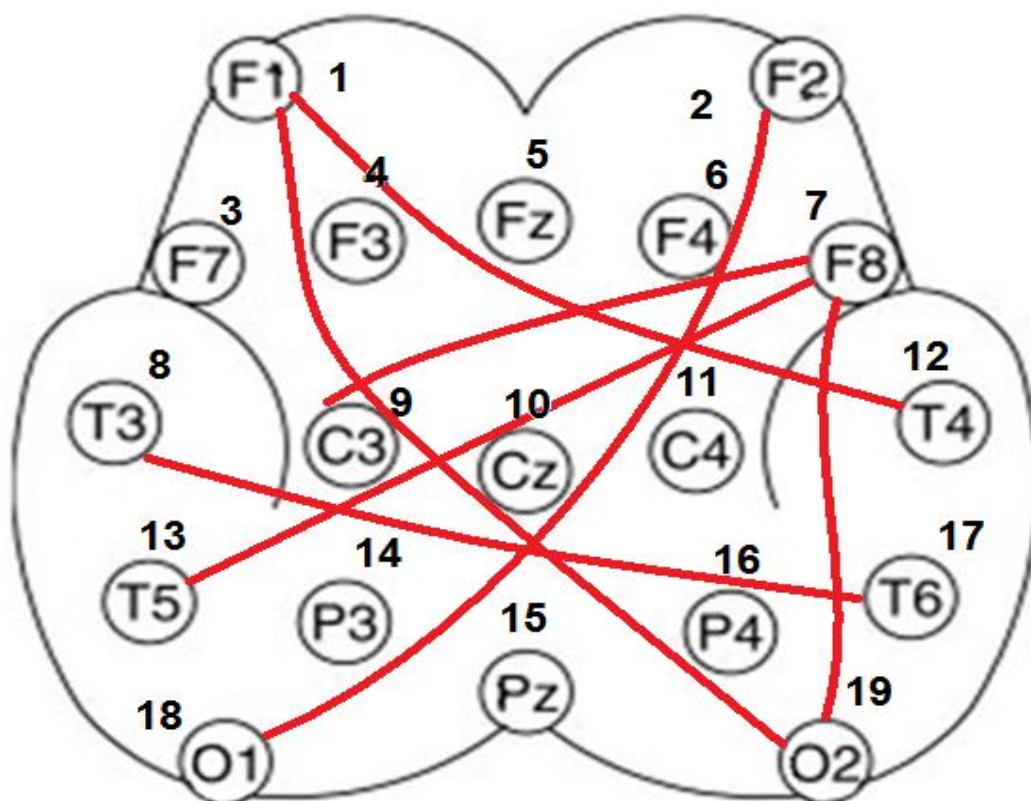


Рисунок 2 Комбинации сенсоров с наибольшими различиями в степени коррелированности сигналов для рассматриваемых групп людей

На втором этапе мы исследовали частотно-фазовую синхронизацию сигналов с полученных пар сенсоров. Для этой цели были проанализированы спектры мощности кросс-корреляционной функции.

После проведенного анализа всех спектров мощности было установлено, что все спектры в зависимости от наличия значительных пиков можно подразделить на 4 типа: с фрактальной структурой, с низкочастотным всплеском (0-3,84 Гц), со всплеском на «высоких» частотах (8.576 Гц - 11.008 Гц), со всплесками на обеих частотах. Таким образом, существенные всплески на спектрах мощности обнаруживали себя в области частот от 0 до 12.8 Гц. [5]

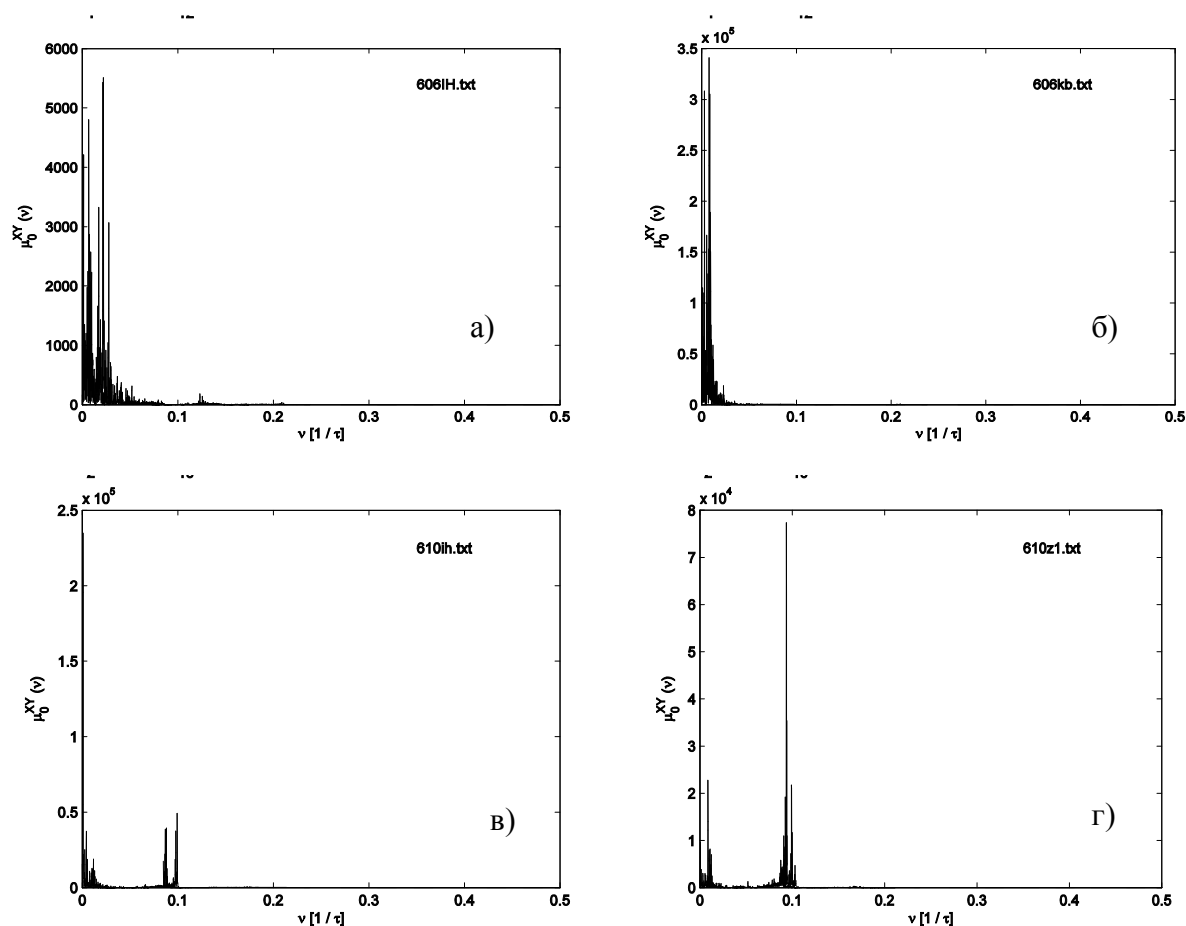


Рисунок 3: выявленные разновидности спектров мощности:

а) ++ всплеск на сверхнизких частотах

б) +- доминирует низкочастотный всплеск

в) -+ доминирует высокочастотный всплеск

г) -- одинаковая выраженность низко- и высокочастотной динамики.

Выше на рисунке, в качестве демонстрации, приводятся 4 спектра мощности каждого типа: для музыканта (для пары электродов с номерами 1 и 12) – фрактальная динамика (рис.3 а) и низкочастотный всплеск (рис. 3 б); для не музыканта (для пары электродов 2 и 18): оба всплеска (рис. 3 в) и высокочастотный всплеск (рис. 3г). В случае б) музыкант выполнял умственную задачу, в случае г) не музыкантом прослушивалась классическая музыка, а в случаях а) и в) испытуемые прослушивали текст нейтрального содержания.

Опираясь на классификацию спектров мощности, были составлены таблицы для каждого познавательного процесса, которые демонстрируют различия во взаимодействии рассматриваемых областей головного мозга у музыкантов и не музыкантов. Под номерами пар электродов в таблице указаны 4 типа спектров мощности, обозначенные следующим образом:

1. ++ фрактальная динамика
2. +- низкочастотный всплеск
3. -+ всплеск на «высоких» частотах
4. -- низкочастотный и «высокочастотный» всплески

Затем дано количество испытуемых – музыкантов (М) или не музыкантов (Н), у которых встречаются данный тип спектра.

Используемые в работе теоретические методы позволяют определить частотные диапазоны, демонстрирующие частотно – фазовую синхронизацию для любых реальных сложных систем непосредственно из экспериментальных временных серий. В качестве примера, продемонстрированы результаты исследований, в которых сложной системой является головной мозг человека, а величины, характеризующие данную систему - спектр мощности.

Полученные результаты позволяют обнаружить частотно – фазовую синхронизацию в реальных сложных системах. Практические приложения теории связаны с созданием и разработкой новых методов анализа, диагностики и предсказания свойств реальных сложных систем.

2.2.2 Результаты

Из каждой таблицы для музыкантов и не музыкантов можно выделить доминирующие типы спектров мощности для каждой рассматриваемой пары электродов. Например, для пары электродов 7 и 19 у прослушивающих музыку музыкантов чаще всего встречается спектр мощности с фрактальной динамикой (++ в таблице 1). Для той же пары электродов, но у не музыкантов больше всего на спектрах мощности фигурирует низкочастотный всплеск(+-

в таблице 1). Проводя аналогичную операцию для всех пар электродов и для всех условий, были составлены таблицы, где четко видно, у каких испытуемых встречается тот или иной тип спектра мощности.

Таблица 1

Прослушивают классическую музыку																												
	2_18				7_19				1_19				7_13				1_12				7_9				8_17			
	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-
	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
М	1	7	2	0	5	3	2	0	4	4	2	0	2	4	2	2	0	4	0	6	0	3	1	6	4	3	2	1
Н	3	4	3	1	4	5	1	1	3	4	3	1	1	7	2	1	0	4	0	7	0	3	0	8	3	2	3	3

Таблица 2

Прослушивают текст нейтрального содержания																												
	2_18				7_19				1_19				7_13				1_12				7_9				8_17			
	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-
	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
М	4	5	1	0	2	5	2	1	5	5	0	0	4	4	1	1	0	4	0	6	0	4	1	5	6	4	0	0
Н	3	5	2	0	3	5	2	0	1	6	2	1	4	5	0	1	0	6	0	4	0	4	1	5	3	3	2	2

Таблица 3

Выполняют умственную задачу																												
	2_18				7_19				1_19				7_13				1_12				7_9				8_17			
	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-
	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
М	0	10	0	0	0	10	0	0	0	10	0	0	0	10	0	0	0	10	0	0	0	9	0	1	0	10	0	0
Н	0	10	0	0	0	10	0	0	0	10	0	0	0	10	0	0	0	10	0	0	0	10	0	0	0	10	0	0

Таблица 4.

Музыканты

Прос-ют музыку	606	608	609	611	612	618	619	622	623	624
2_18(+/-)	✓			✓	✓	✓		✓	✓	✓
7_19(++)		✓		✓		✓		✓		✓
1_19(++)		✓		✓		✓				✓
7_13(+/-)					✓	✓		✓	✓	
1_12(--)	✓	✓	✓				✓		✓	✓
7_9(--)	✓	✓					✓	✓	✓	✓
8_17(++)			✓		✓	✓		✓		
Прослушивают	606	608	609	611	612	618	619	622	623	624

текст										
2_18(+/-)	✓			✓	✓	✓			✓	
7_19(+/-)	✓			✓	✓	✓			✓	
1_19(++)		✓	✓	✓				✓		✓
7_13(+/-)	✓			✓				✓	✓	
1_12(--)	✓	✓	✓		✓		✓			✓
7_9(--)	✓		✓		✓		✓			✓
8_17(++)		✓	✓			✓	✓	✓		✓
Выполняют умств – ю задачу	606	608	609	611	612	618	619	622	623	624
2_18(+/-)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
7_19(+/-)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
1_19(+/-)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
7_13(+/-)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
1_12(+/-)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
7_9(+/-)	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
8_17(+/-)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Таблица 5. Не музыканты											
Прос-ют музыку	610	616	620	621	625	627	628	629	630	632	670
2_18(+/-)		✓	✓			✓		✓			
7_19(+/-)		✓	✓			✓		✓	✓		
1_19(+/-)		✓	✓			✓		✓			
7_13(+/-)	✓	✓	✓		✓	✓		✓	✓		
1_12(--)	✓			✓		✓	✓	✓		✓	✓
7_9(--)	✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
8_17(++)					✓				✓		✓
Прос-ют текст	610	616	620	621	625	627	628	629	630	632	670
2_18(+/-)		✓	✓			✓	✓	✓			0
7_19(+/-)		✓	✓			✓	✓	✓			0
1_19(+/-)		✓	✓		✓	✓	✓	✓			0
7_13(+/-)		✓				✓	✓	✓		✓	0
1_12(+/-)	✓	✓		✓	✓	✓		✓			0
7_9(--)	✓		✓		✓		✓			✓	0
8_17(+/-)		✓					✓	✓			0
Выполняют умств – ю	610	616	620	621	625	627	628	629	630	632	670

задачу											
2_18(+/-)	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
7_19(+/-)	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
1_19(+/-)	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
7_13(+/-)	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
1_12(+/-)	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
7_9(+/-)	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
8_17(+/-)	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√

Как видно из последней таблицы, различия во взаимодействии электродов полностью отсутствуют между музыкантами и не музыкантами когда они выполняют умственную задачу (если не считать случая для пары электродов под номерами 7 и 9). В случае прослушивания текста и прослушивания классической музыки, обнаружены по три различия, причем для несхожих пар электродов. Например, существенные различия во взаимодействии между музыкантами и не музыкантами у прослушивающих классическую музыку присутствует для пар электродов 2_18, 7_19, 7_13, в то время как у этих же пар электродов, но у прослушивающих текст нейтрального содержания значительные различия отсутствуют. И, наоборот, для пар электродов 1_19, 1_12 и 8_17 имеются существенные различия во взаимодействии между участками головного мозга у прослушивающих текст, тогда как у слушающих музыку никаких значительных различий нет. И лишь для пар электродов 7 и 9 для обеих вышеописанных задач значительных различий во взаимодействии не обнаружено, что может являться лишь характерной особенностью испытуемого.

На рисунках 6 и 7 приведены двойные кросс-корреляторы для следующих испытуемых:

1. прослушивающих текст (таблица 6):
 - музыканта 624 с электродами 1 и 12(а), 8 и 17(б);
 - не музыканта 629 с электродами 1 и 19(в), 7 и 13(г), 1 и 12(д).
2. прослушивающих музыку (таблица 7):
 - музыканта 624 с электродами 2 и 18(а), 1 и 12(б), 7 и 9(в);
 - не музыканта 629 с электродами 7 и 13(г), 1 и 12(д), 7 и 9(е);

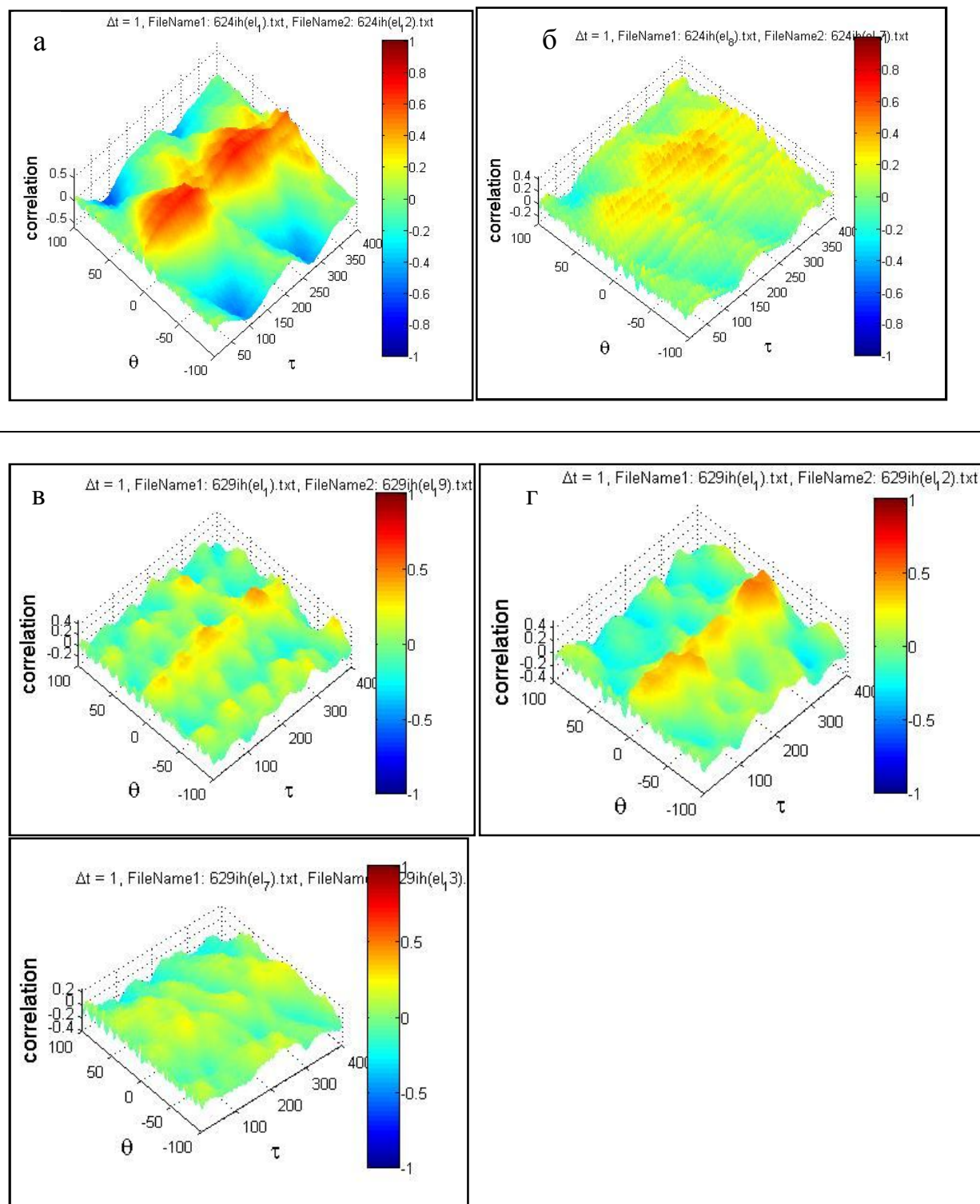
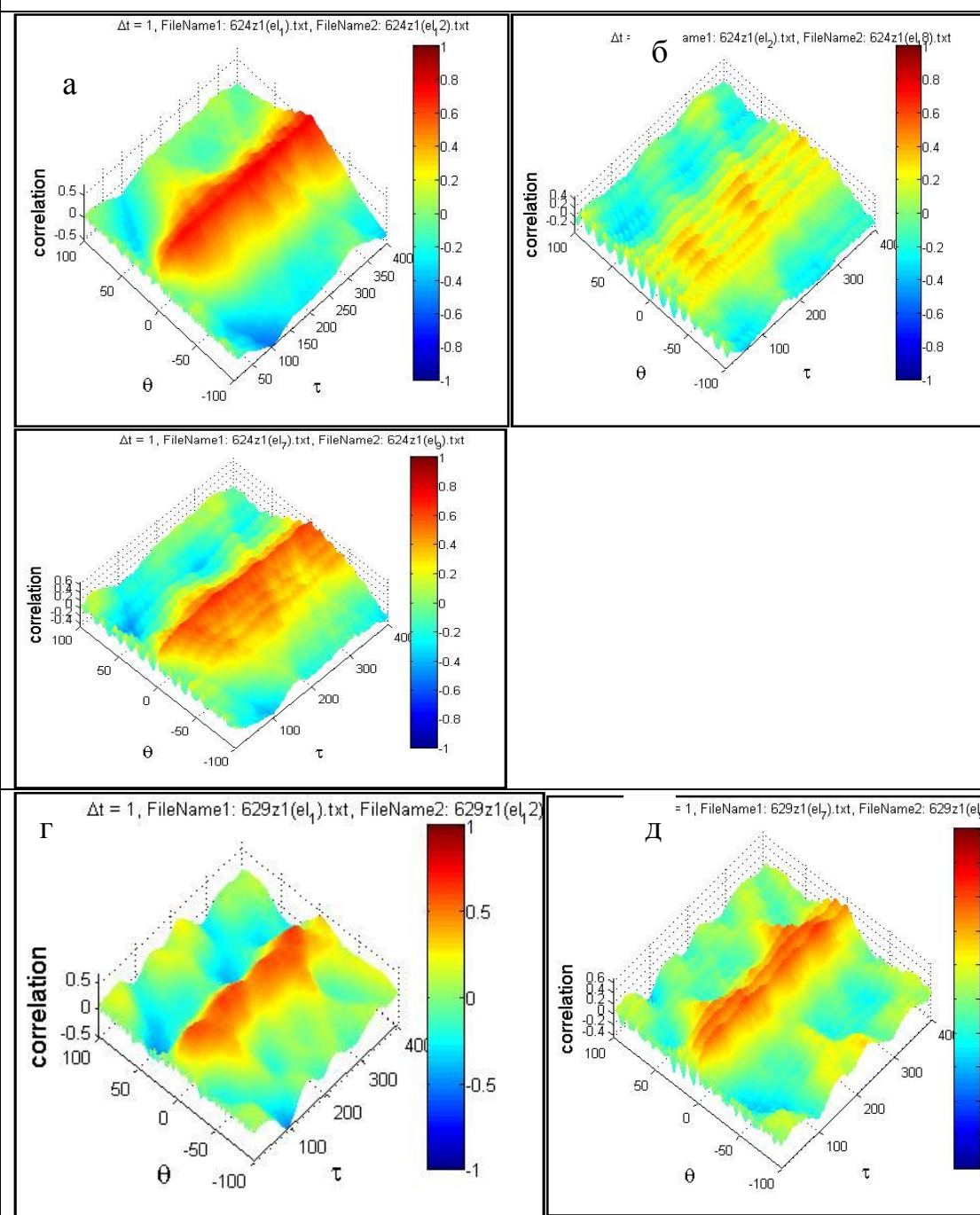
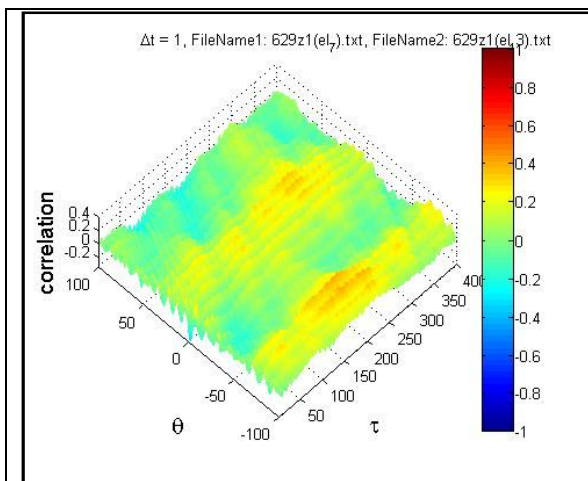


Рисунок 7.

Прослушивают музыку





На рисунках 6.а , 7.а и 7.в наблюдаются крупномасштабные осцилляции, причем на последнем представленная кросскорреляционная взаимосвязь имеет квазипериодическую структуру. На рисунках 6.б , 7.б и 7.е , наоборот - мелкомасштабные осцилляции, имеющие также квазипериодический характер. На рисунках 6.в и 6.г кросскорреляционные зависимости выражены слабо, а самый слабый уровень коррелированности сигналов представлен на рисунке 6.е. Кросскорреляционные зависимости на рисунках 7.г и 7.д тоже имеют квазипериодическую структуру, но с меньшими по масштабу, по сравнению с представленными на 6.а , 7.а и 7.в, осцилляциями.

Заключение

Временные сигналы, генерируемые составными сложными системами, содержат уникальную информацию об их организации и характере взаимодействия отдельных компонентов, которую можно извлекать различными методами. Тем не менее, наиболее простым и информативным на данный момент остается метод регистрации электромагнитной активности – электроэнцефалография. На основе ЭЭГ-сигналов в рамках обобщения формализма функций памяти были выявлены некоторые закономерности во взаимной динамике сигналов мозга у музыкантов и не музыкантов. Как видно из составленных таблиц, полученные нами спектры мощности демонстрируют доминирование низкочастотных всплесков во время выполнения мысленного пространственного вращения фигуры у обеих групп, что говорит об отсутствии различий во взаимодействии отдельных участков коры головного мозга. Однако при прослушивании классической музыки и прослушивании текста нейтрального содержания найдены различия между музыкантами и не музыкантами для определенных пар электродов. Этими парами являются электроды под номерами 1 и 19, 1 и 12, 8 и 17 для прослушивающих текст; 2 и 18, 7 и 19, 7 и 13 для прослушивающих музыку. Для остальных пар электродов существенные различия во взаимодействии участков коры головного мозга отсутствуют.

Таким образом, у музыкантов и не музыкантов за выполнение одной и той же задачи, а именно прослушивания текста или прослушивания музыки, отвечают взаимодействия разных участков коры головного мозга. Это позволяет сделать нам вывод, что за выполнение определенных познавательных функций отвечают различные участки головного мозга.

Литература

1. Bhattacharya J., Petsche H., Phase synchrony analysis of EEG during music perception reveals changes in functional connectivity due to musical expertise // Signal Processing 2005. V. 85. P. 2161-2177.
2. Bhattacharya J., Petsche H., Pereda, Interdependencies in spontaneous EEG while listening to music // International Journal of Psychophysiology 2001. V. 42. P. 287-301.
3. Bhattacharya J., Petsche H., Pereda P., Long-range synchrony in the γ band: role in music perception // The Journal of Neuroscience. 2001. V. 21. P. 6329-6337.
4. Yulmetyev R., Hänggi P., Gafarov F. Stochastic dynamics of time correlation in complex systems with discrete time // Physical Review E. 2000. V. 62. P. 6178-6194.
5. Panishev O.Yu., Demin S.A., Kaplan A.Ya., Varaksina N.Yu. Use of Cross-Correlation Analysis of EEG Signals for Detecting Risk Level for Development of Schizophrenia // Biomedical Engineering. 2013. V. 47, No. 3. P. 153-156.
6. http://coolreferat.com/Головной_мозг_человека
7. http://otherreferats.allbest.ru/biology/00165237_0.html
8. www.dslib.net/teor-fizika/jeffekty-statisticheskoy-pamjati-v-haoticheskoy-dinamike-slozhnyh-diskretnyh-sistem.html
9. <http://www.cerebellum.ru/anatomy.php>
10. <http://lib.rushkolnik.ru/text/9164/index-1.html>

Приложение

Группа музыкантов: '606' '608' '609' '611' '612' '618' '619' '622' '623' '624' .

Группа нем музыкантов: '610' '616' '620' '621' '625' '627' '628' '629' '630' '632'

Когнитивные задачи:

ИН

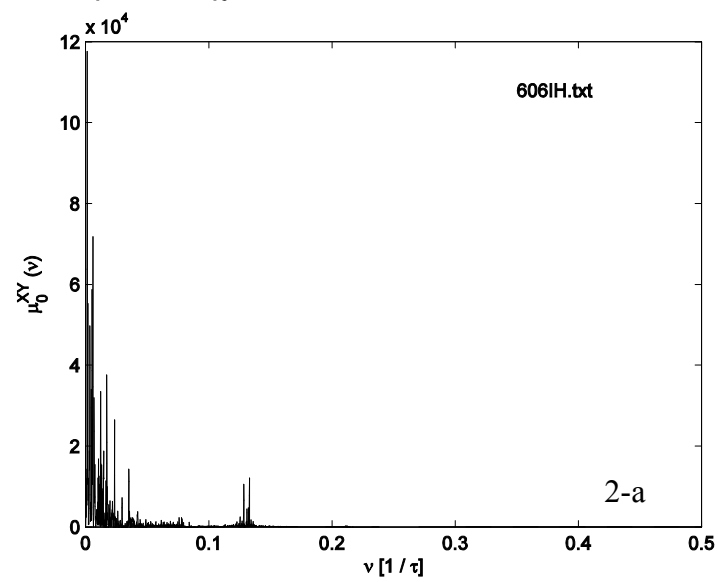
ih

Z1

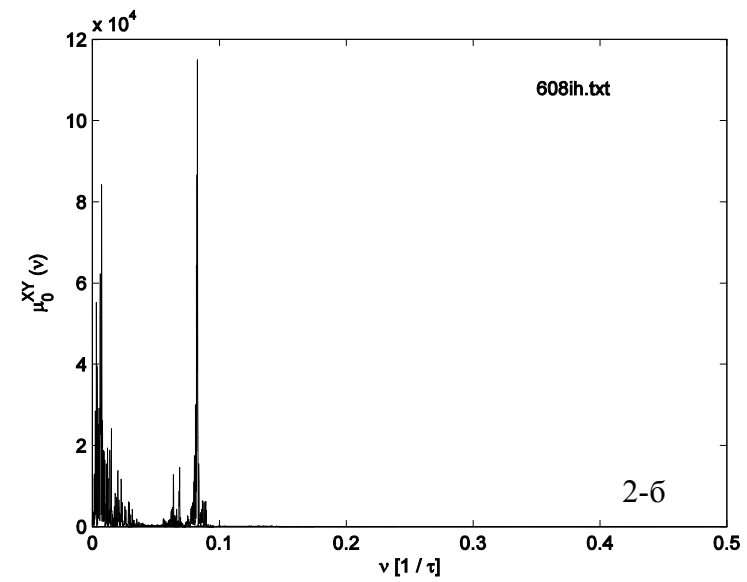
z1

Для коэффициента корреляции по оси X и Y отмечены комбинация сенсоров.

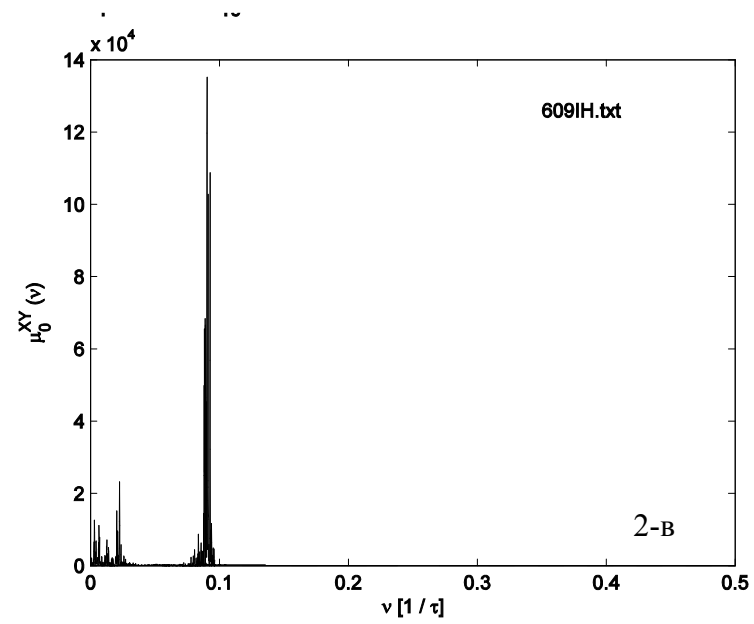
Количество рисунков –80.



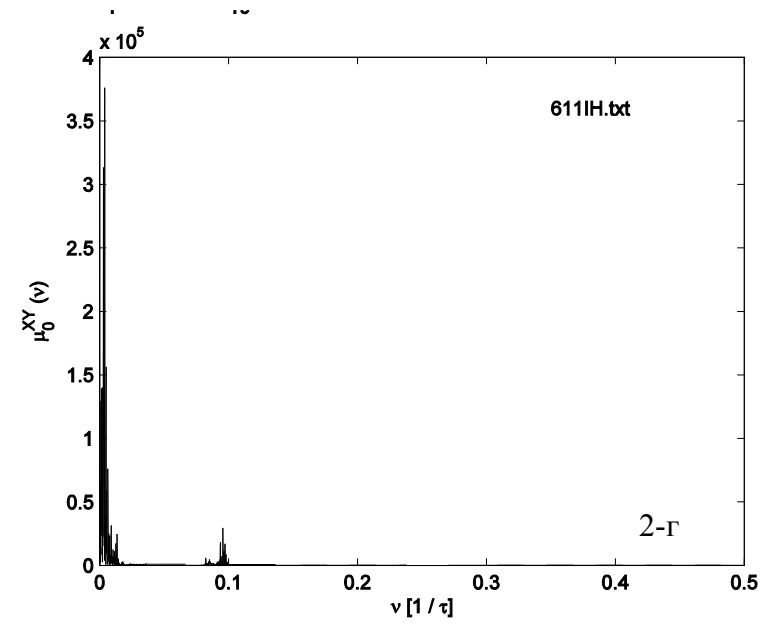
Первый музыкант выполняет умственную задачу



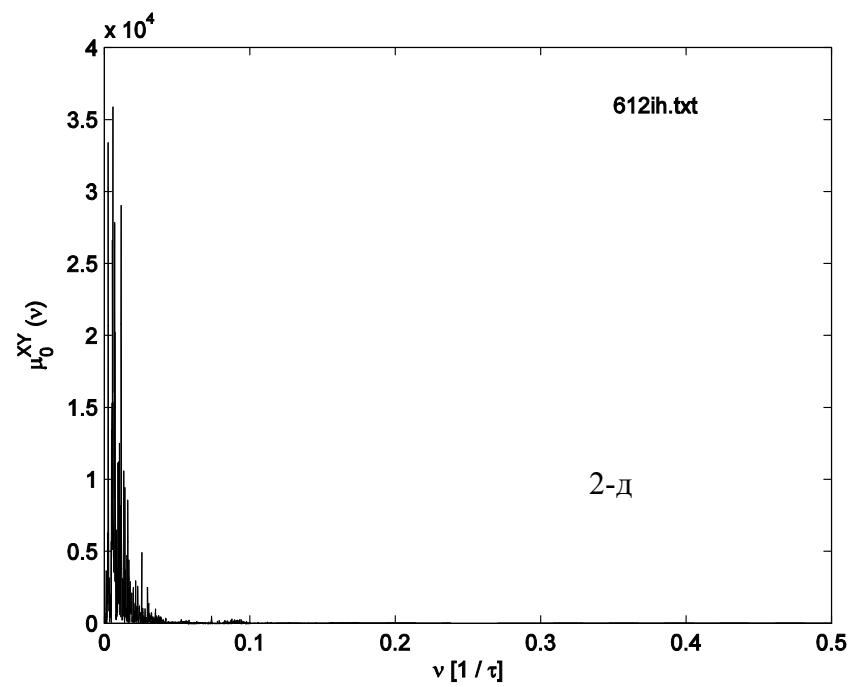
Второй музыкант выполняет умственную задачу



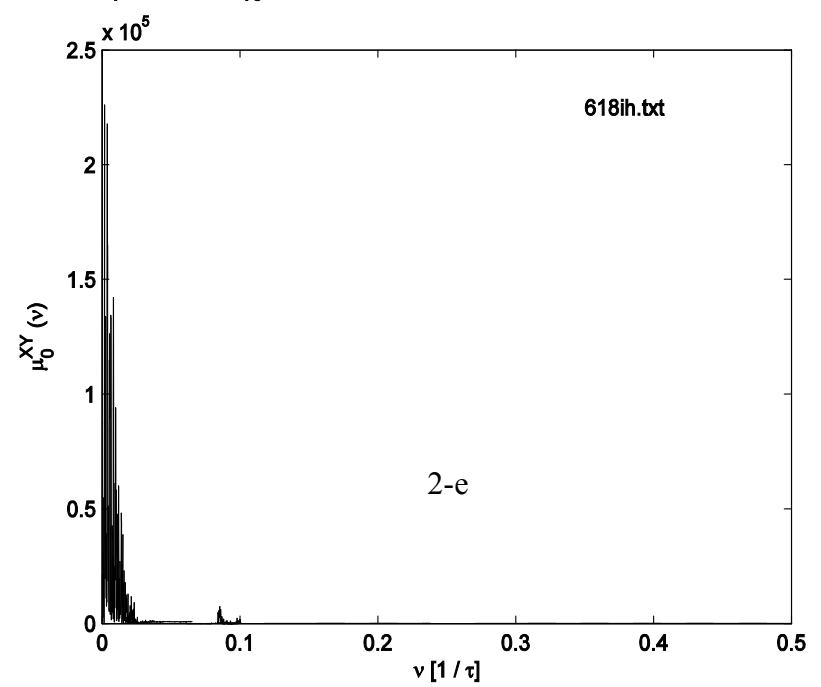
Третий музыкант выполняет умственную задачу



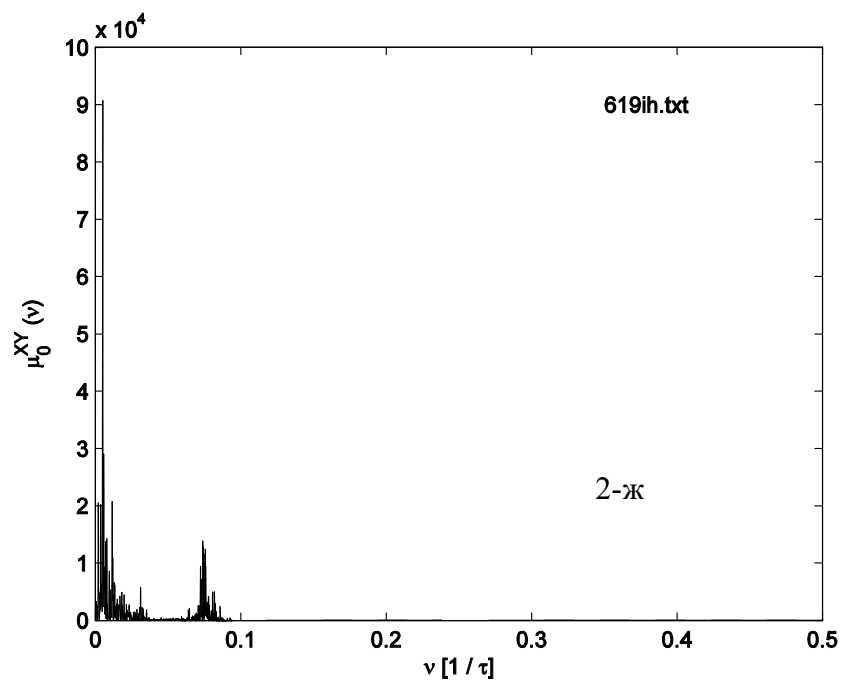
Четвертый музыкант выполняет умственную задачу



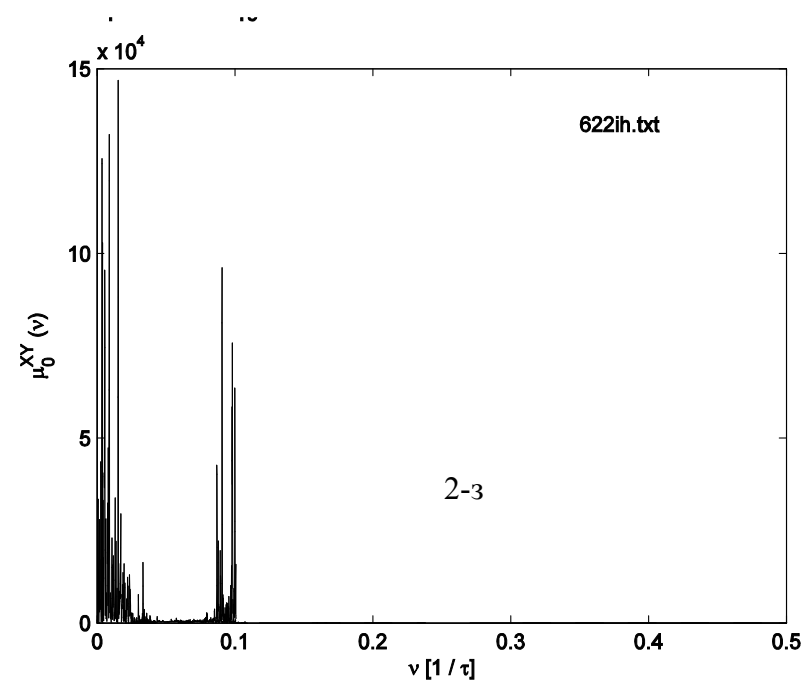
Пятый музыкант выполняет умственную задачу



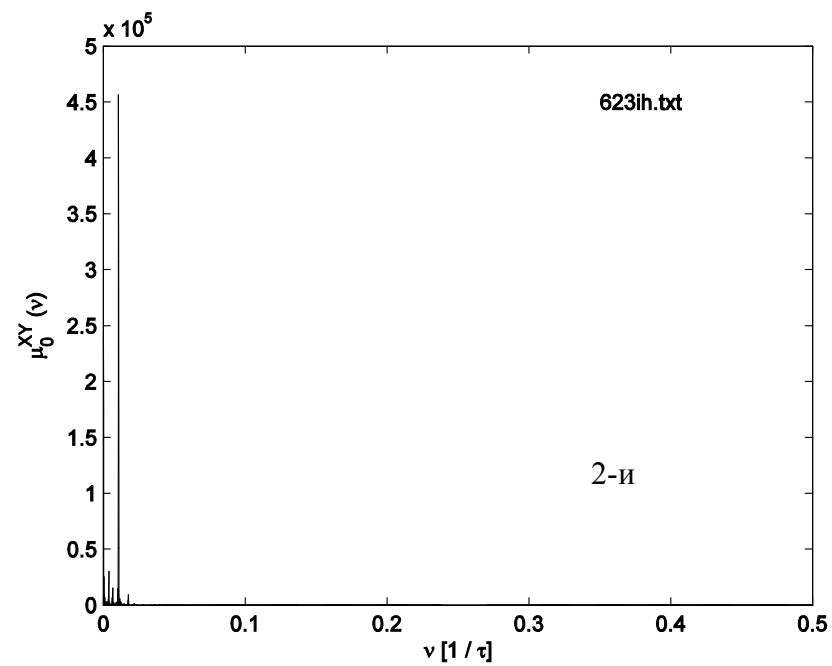
Шестой музыкант выполняет умственную задачу



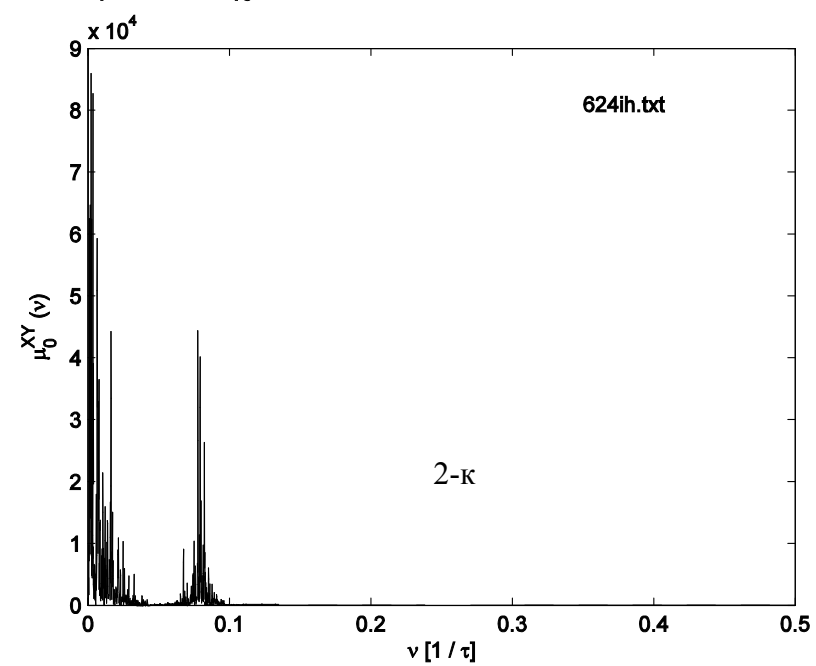
Седьмой музыкант выполняет умственную задачу



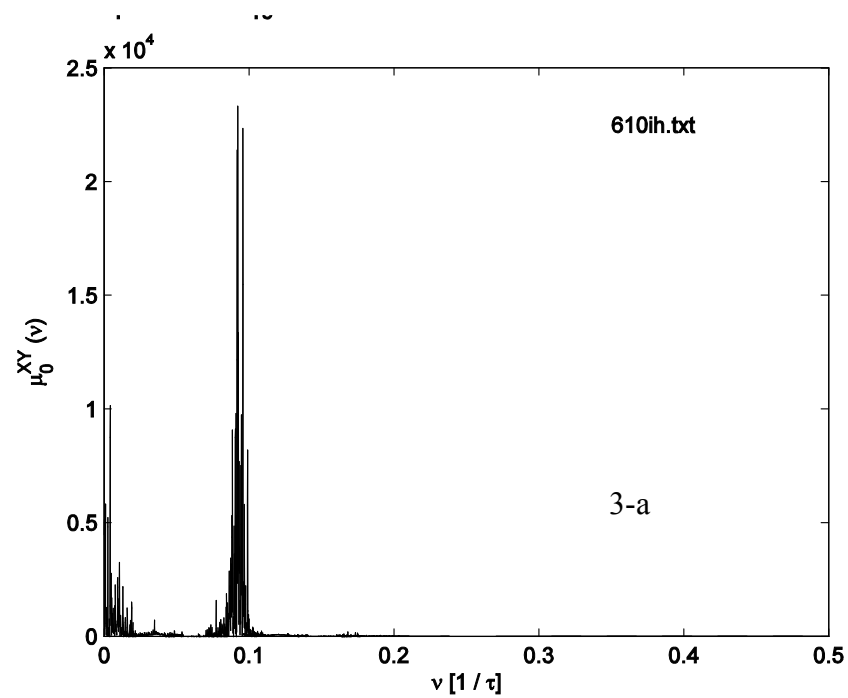
Восьмой музыкант выполняет умственную задачу



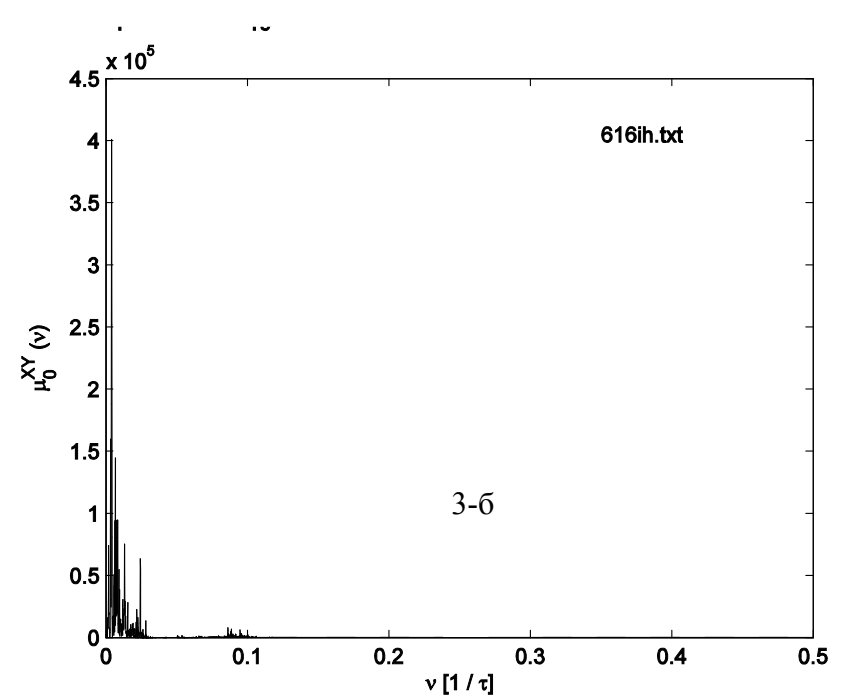
Девятый музыкант выполняет умственную задачу



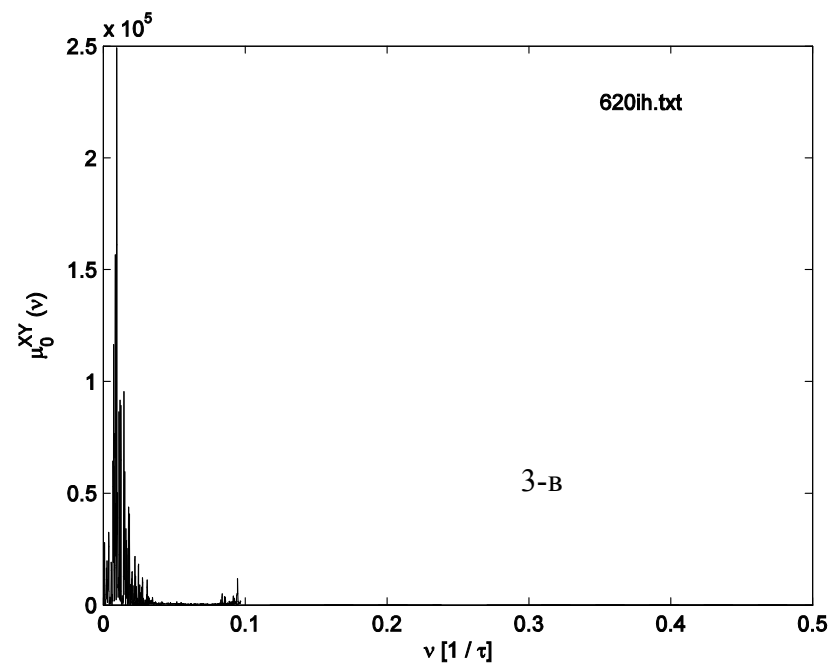
Десятый музыкант выполняет умственную задачу



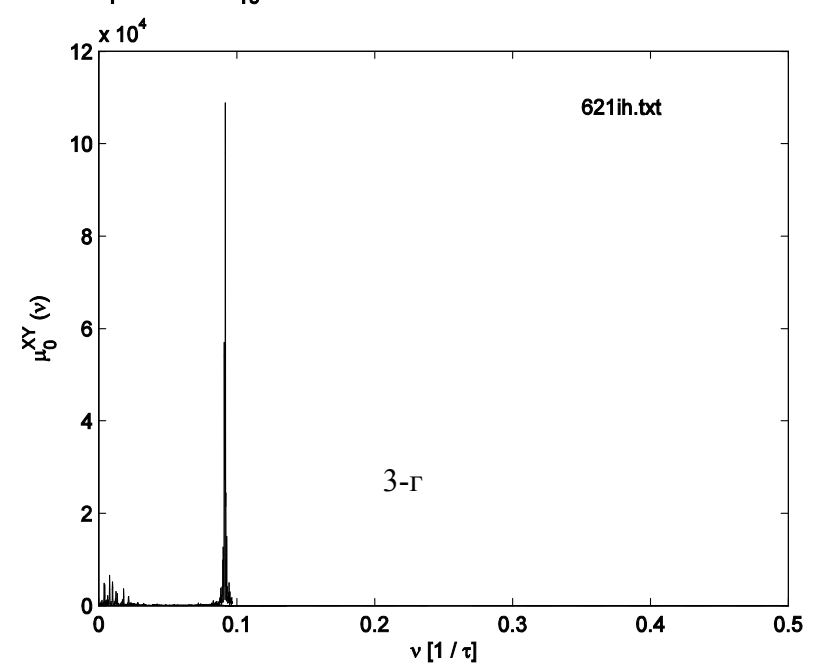
Первый немусыкант выполняет умственную задачу



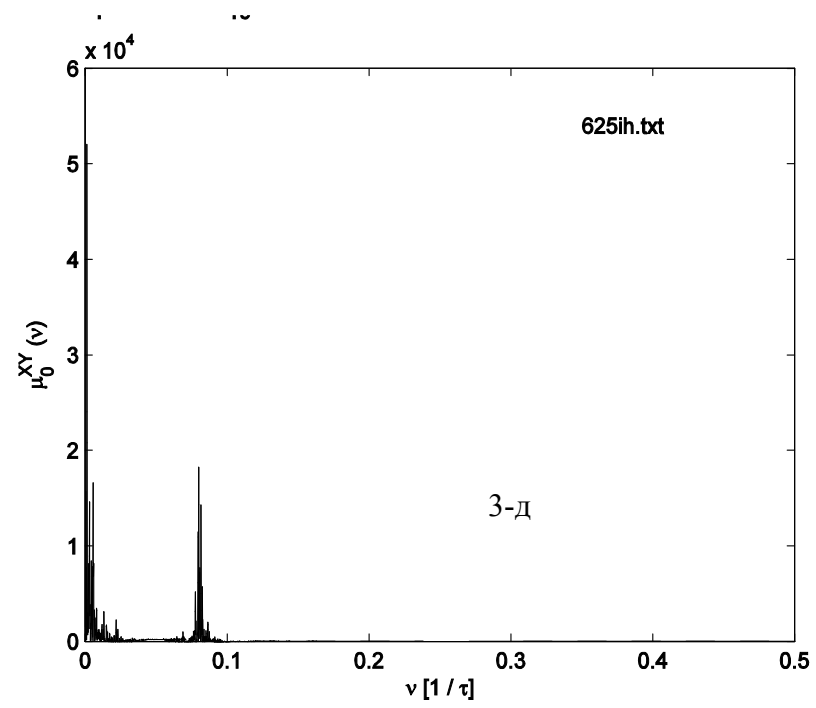
Второй немусыкант выполняет умственную задачу



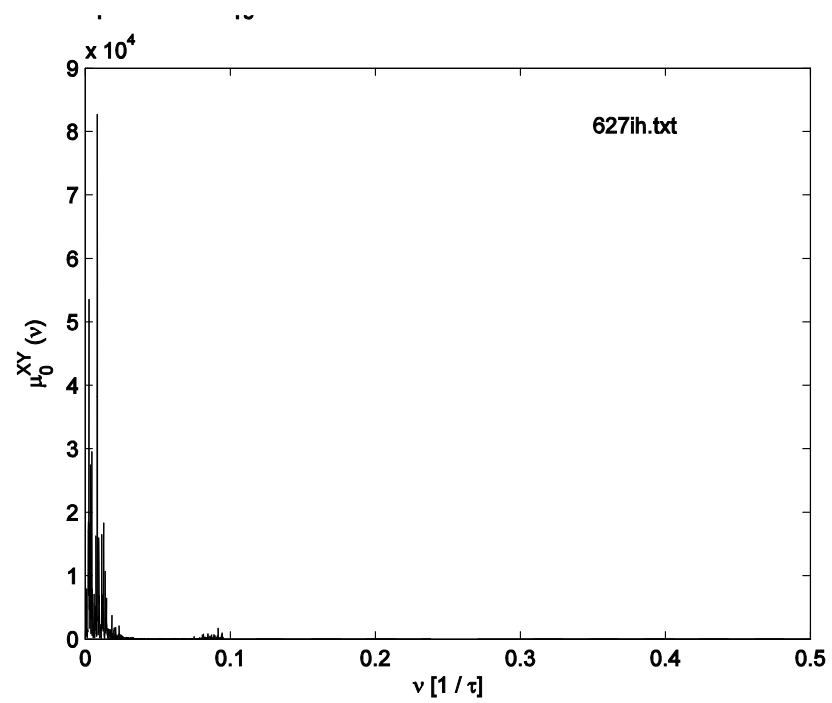
Третий немусыкант выполняет умственную задачу



Четвертый немусыкант выполняет умственную задачу

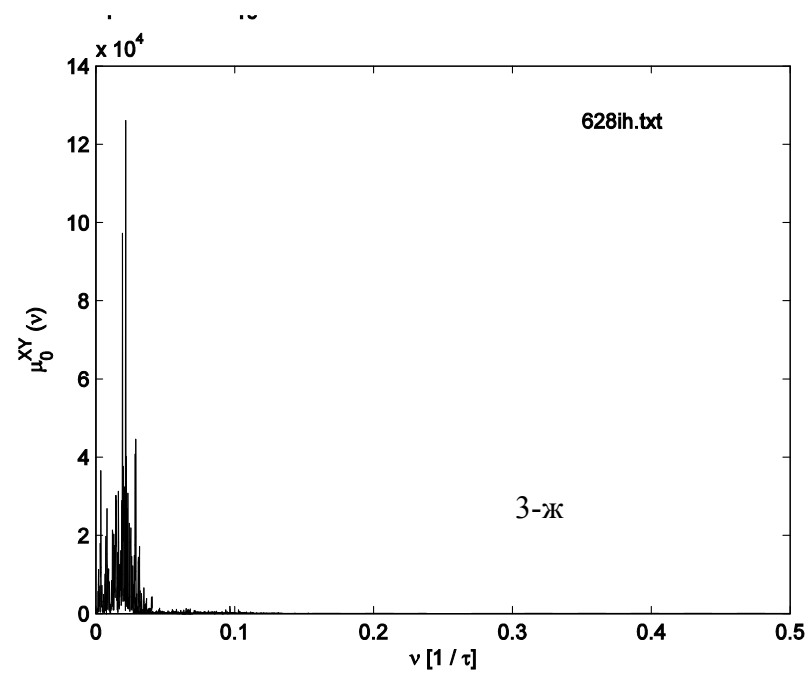


3-e



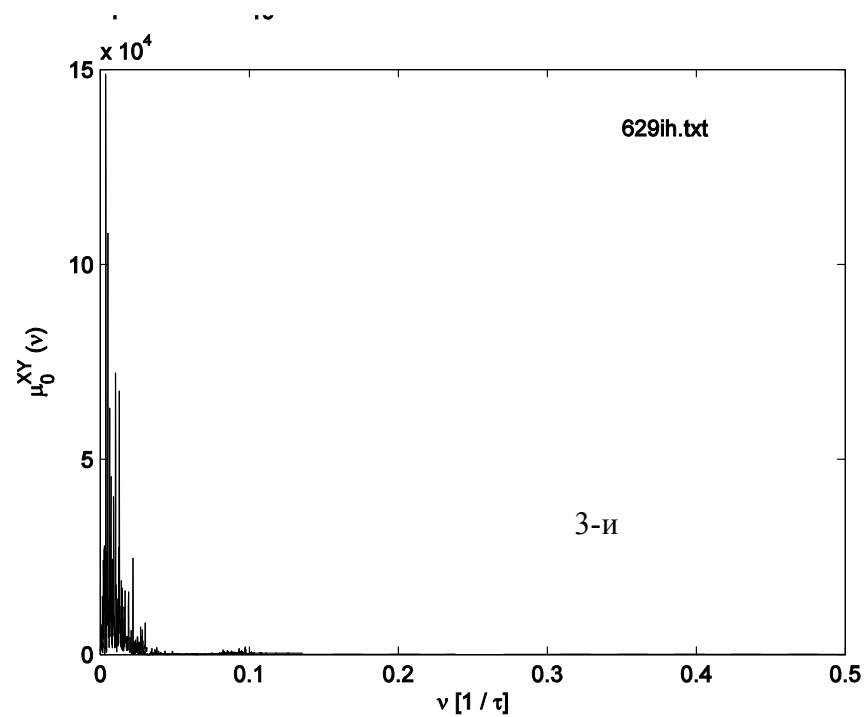
Пятый немусыкант выполняет умственную задачу

Шестой немусыкант выполняет умственную задачу

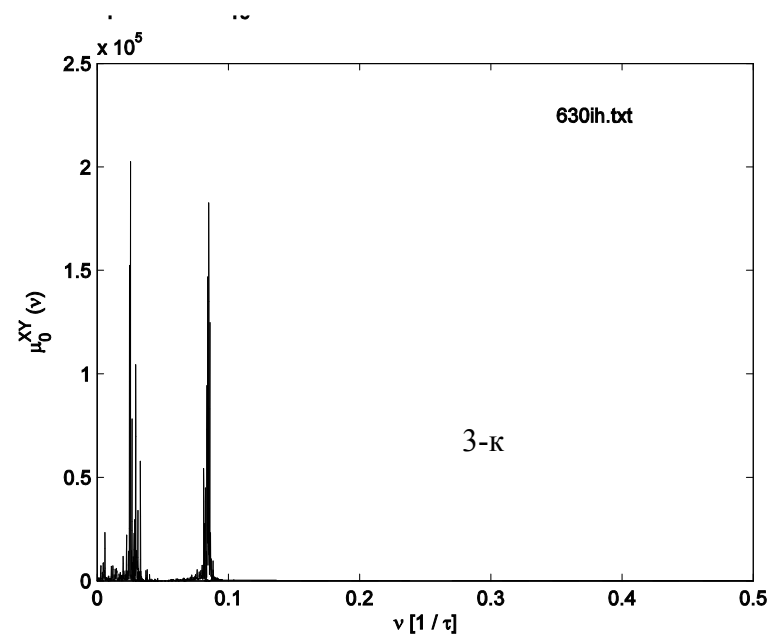


Седьмой немусыкант выполняет умственную задачу

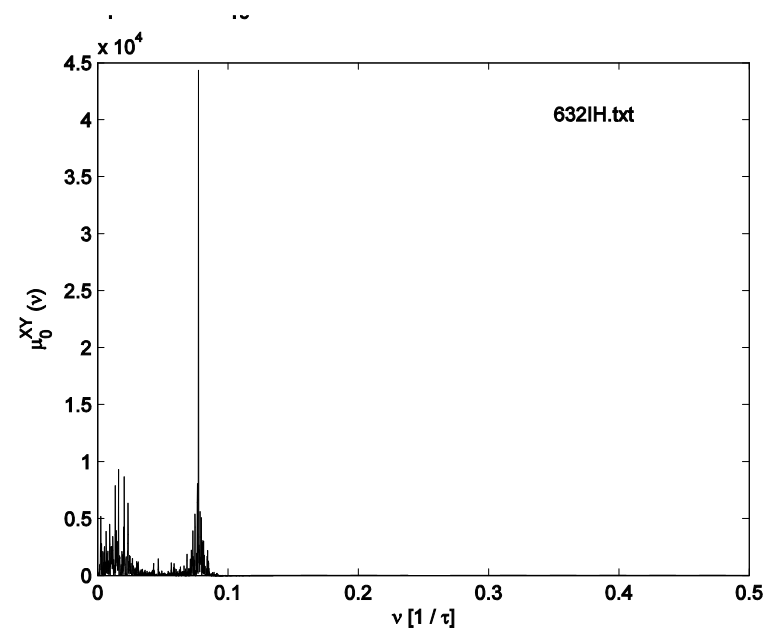
Восьмой немусыкант выполняет умственную задачу

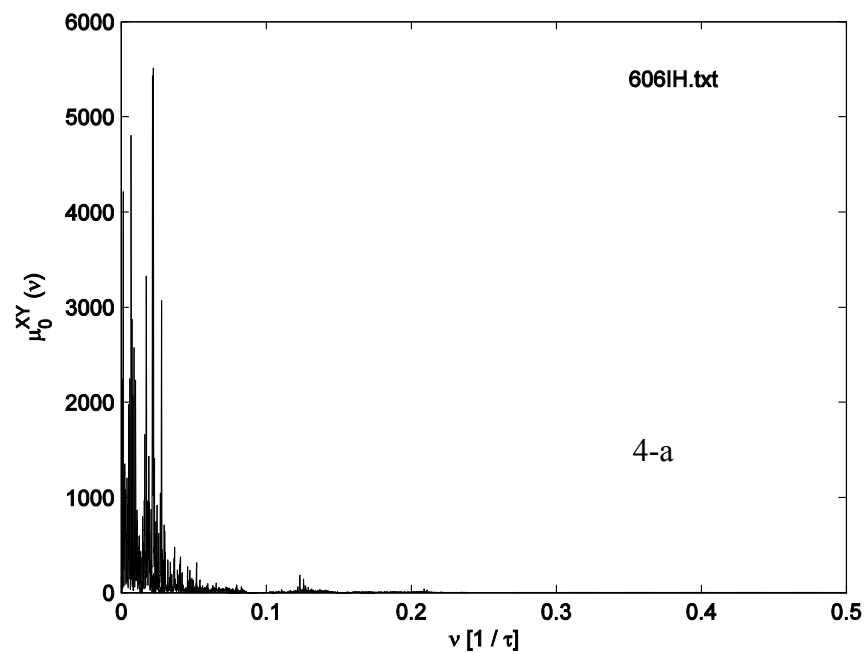


Девятый немусыкант выполняет умственную задачу

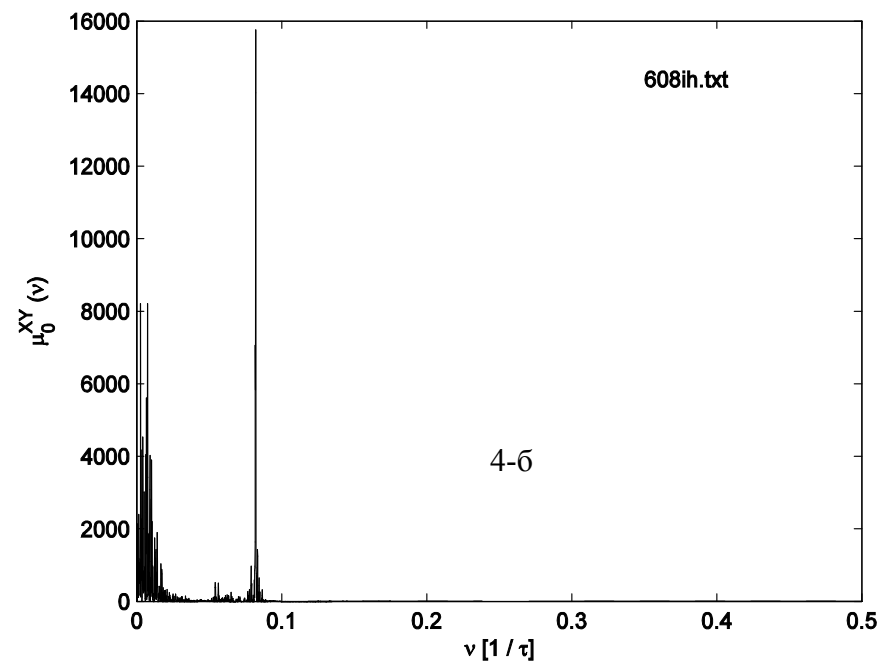


Десятый немусыкант прослушивает музыку

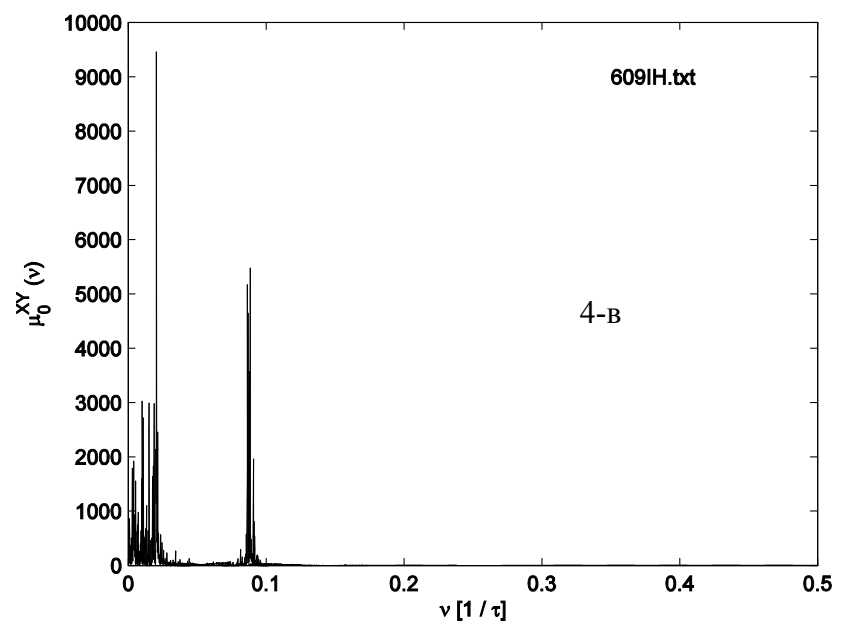




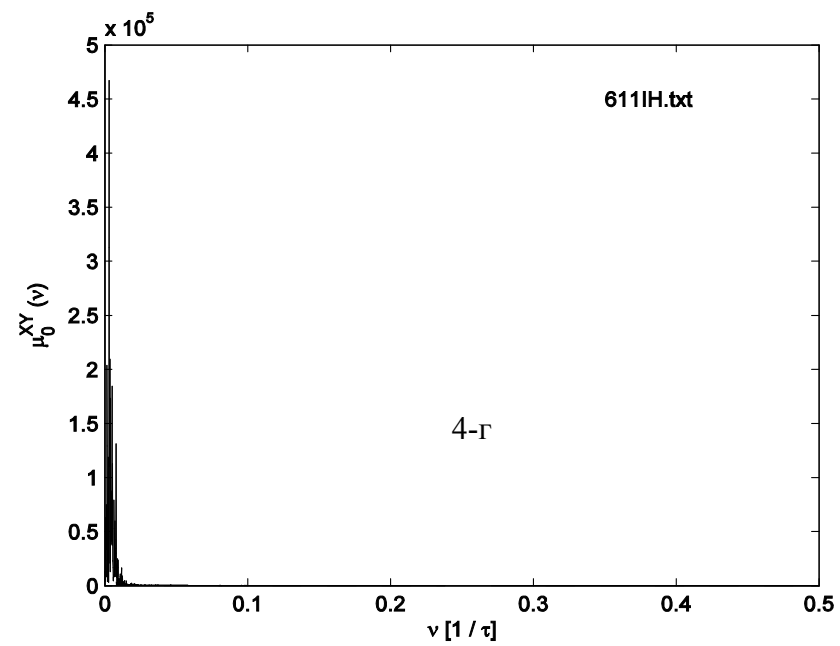
Первый музыкант прослушивает музыку



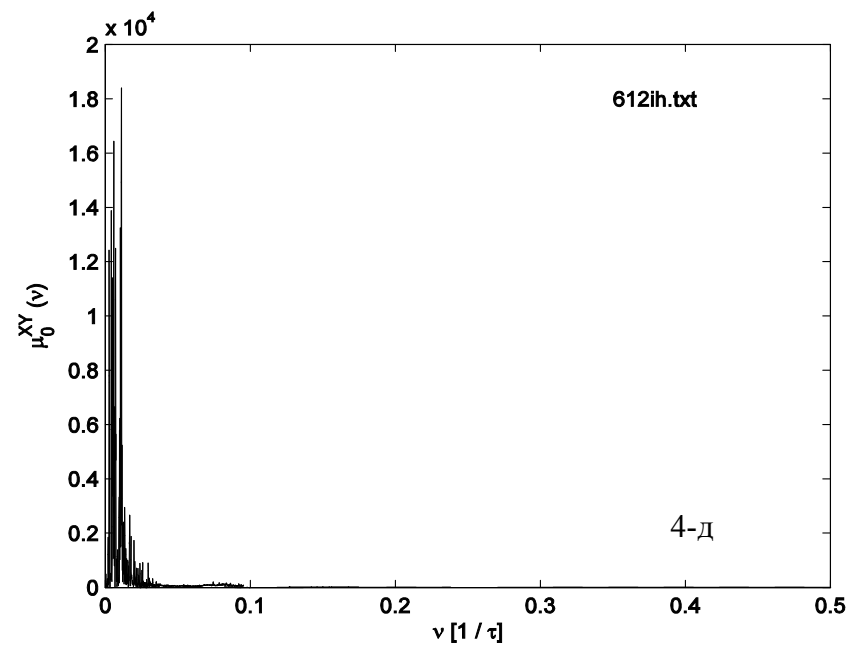
Второй музыкант прослушивает музыку



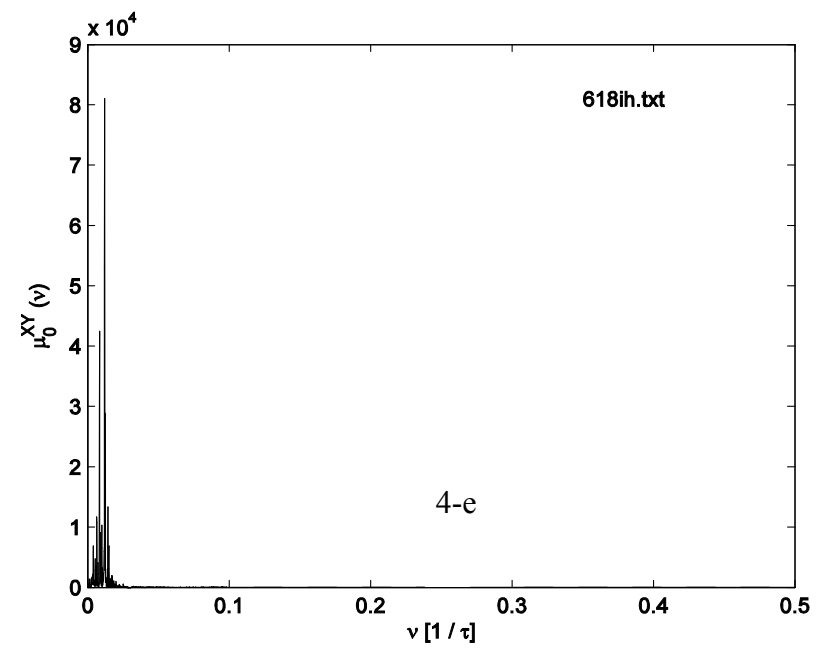
Третий музыкант прослушивает музыку



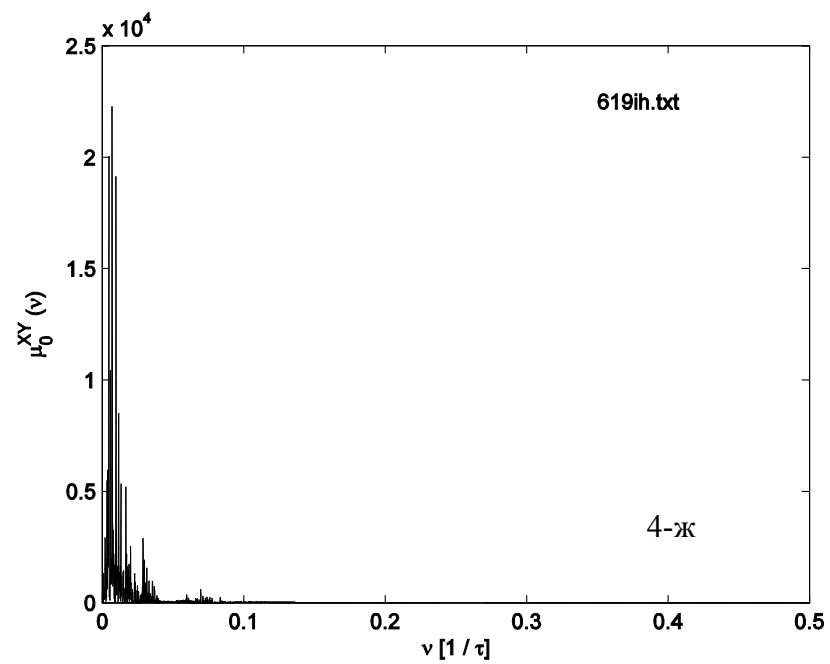
Четвертый музыкант прослушивает музыку



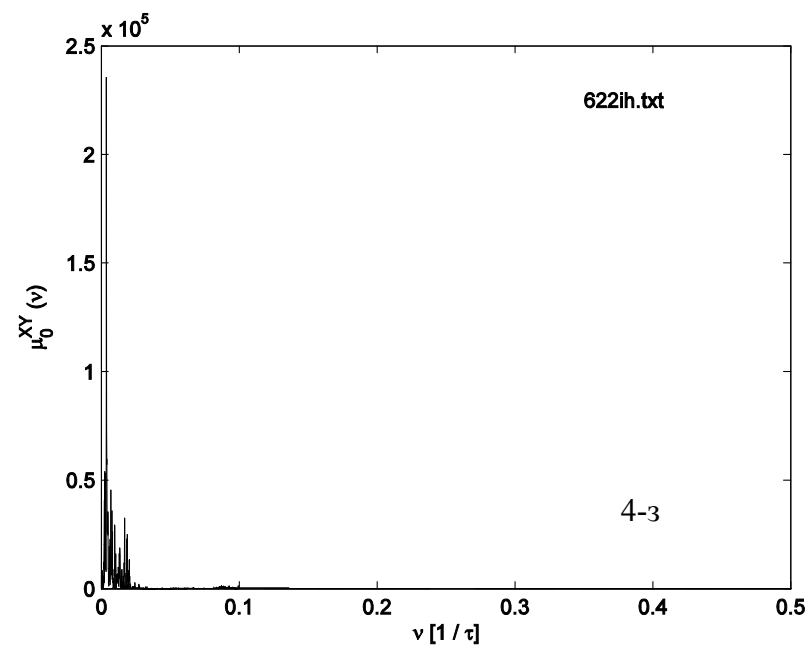
Пятый музыкант прослушивает музыку



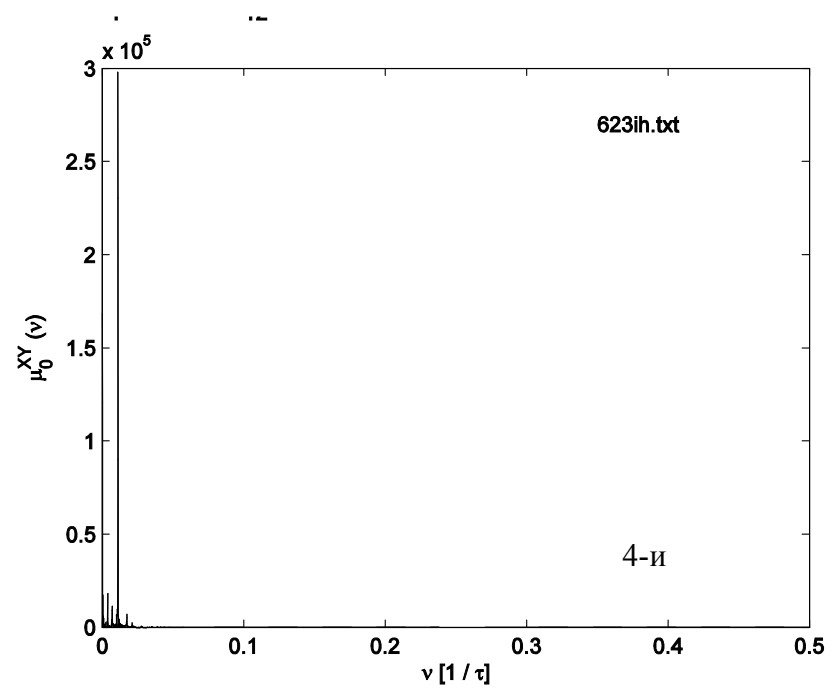
Шестой музыкант прослушивает музыку



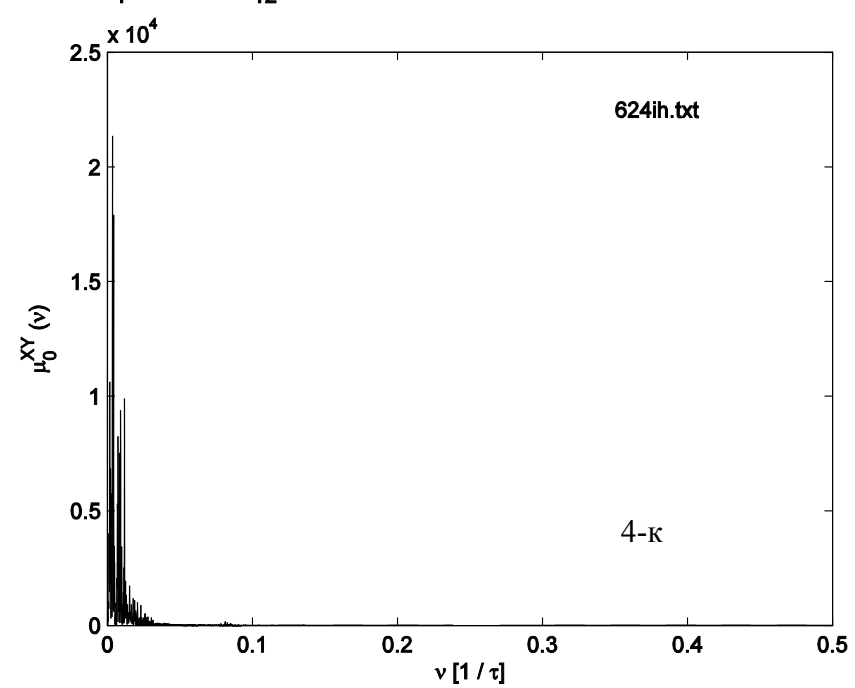
Седьмой музыкант прослушивает музыку



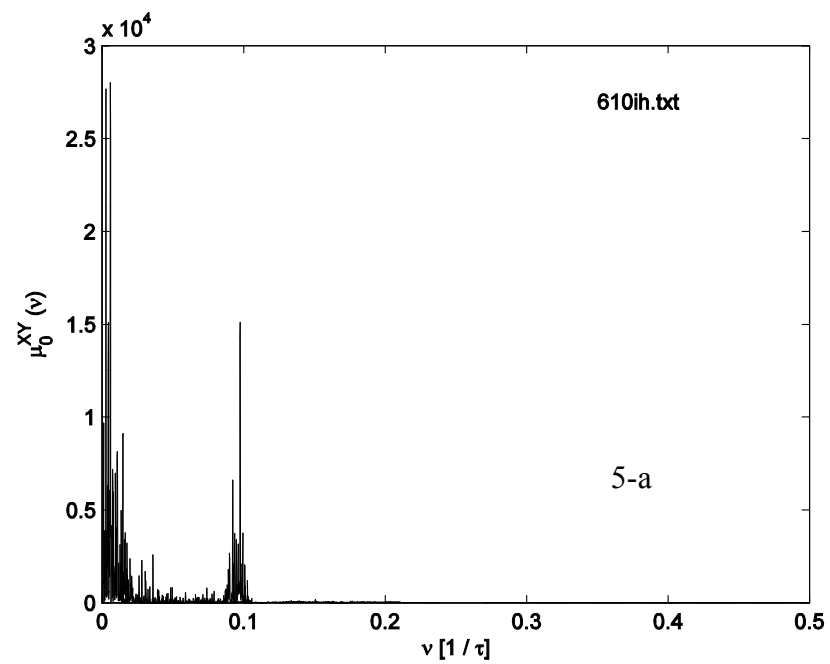
Восьмой музыкант прослушивает музыку



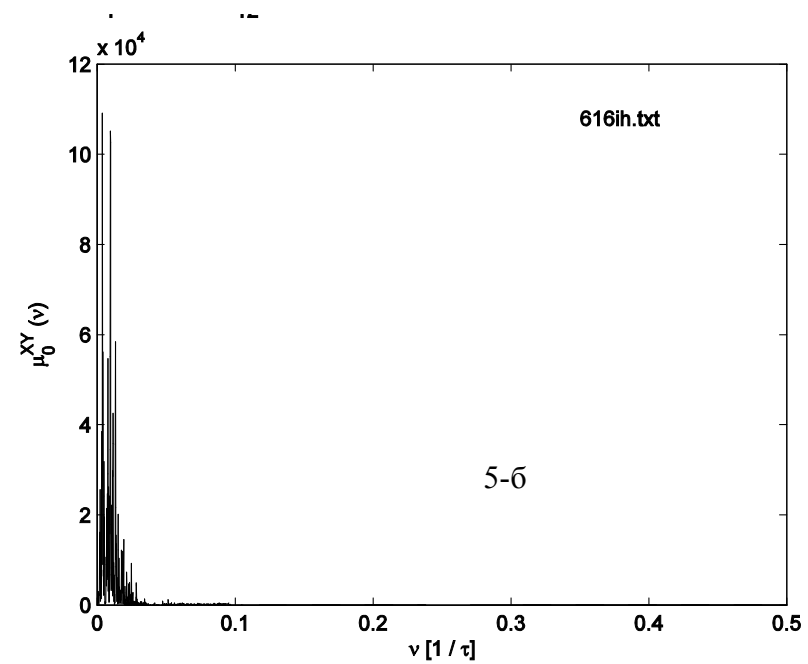
Девятый музыкант прослушивает музыку



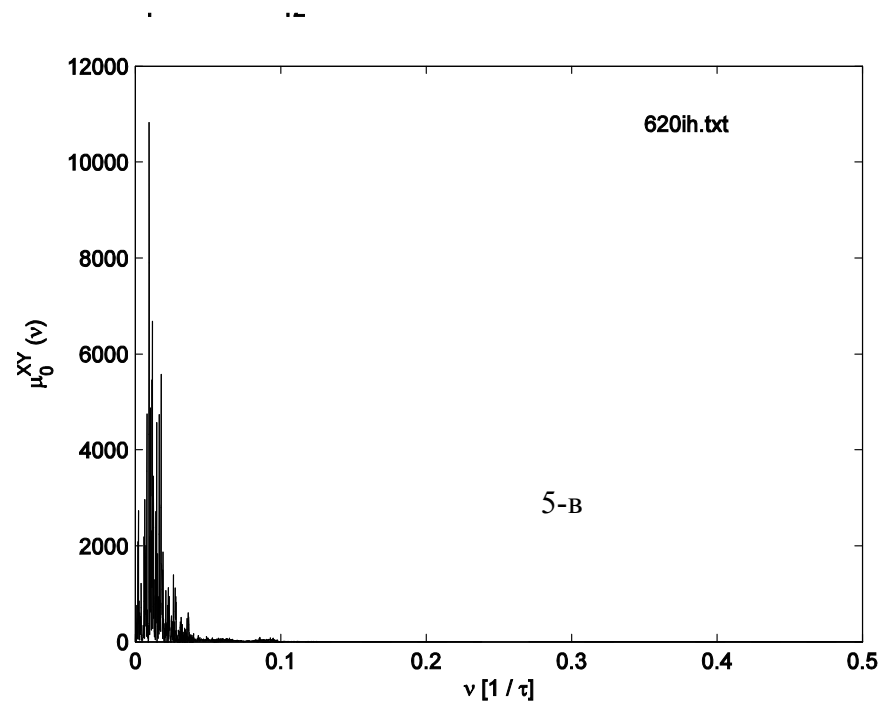
Десятый музыкант прослушивает музыку



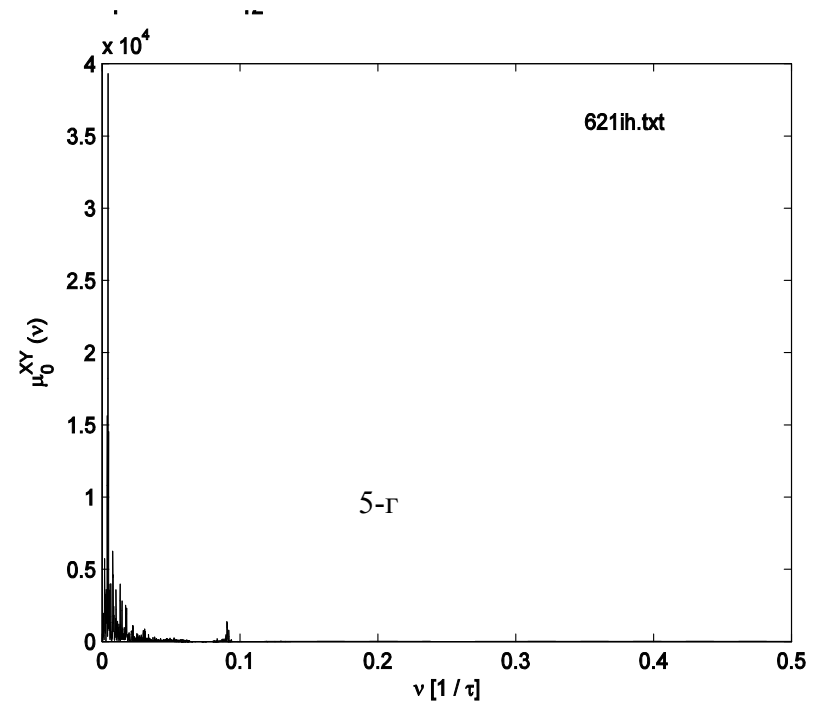
Первый немусыкант прослушивает музыку



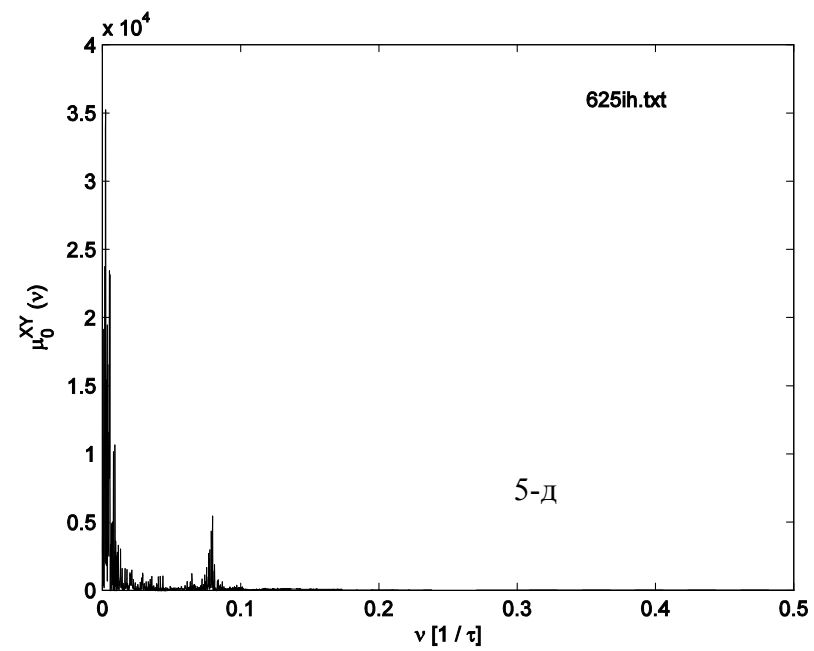
Второй немусыкант прослушивает музыку



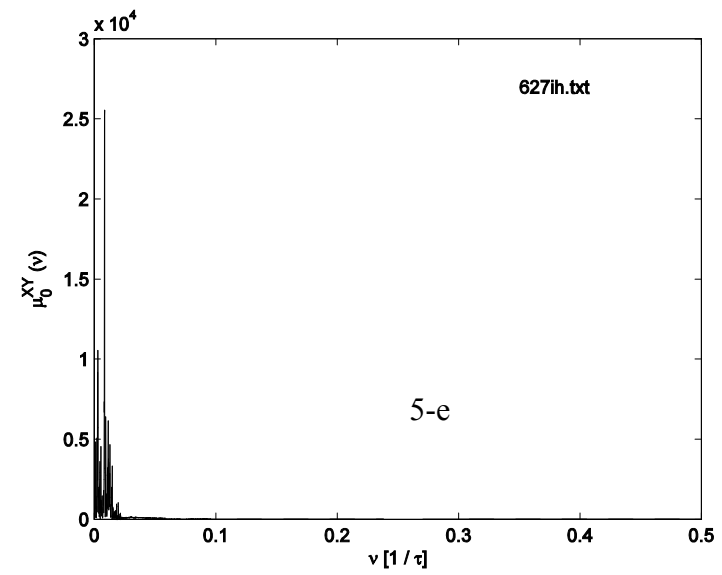
Третий немусыкант прослушивает музыку



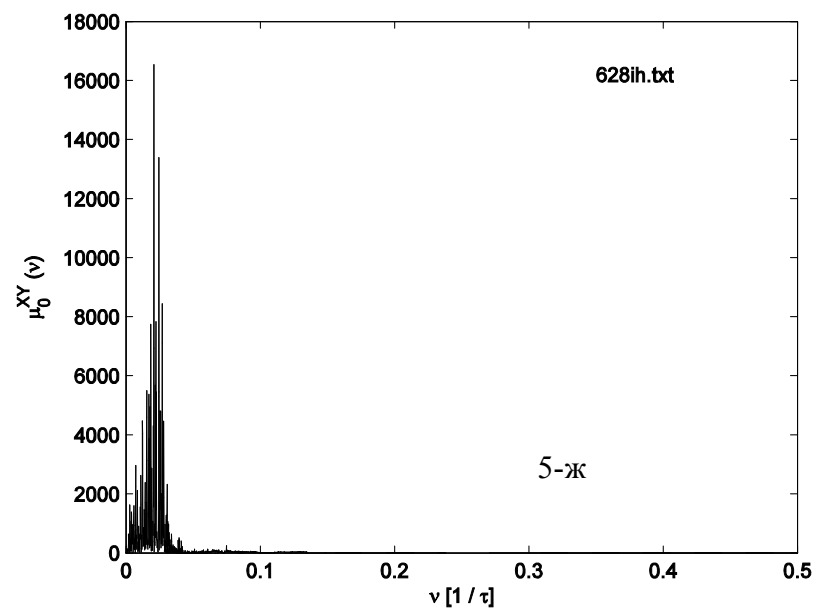
Четвертый немусыкант прослушивает музыку



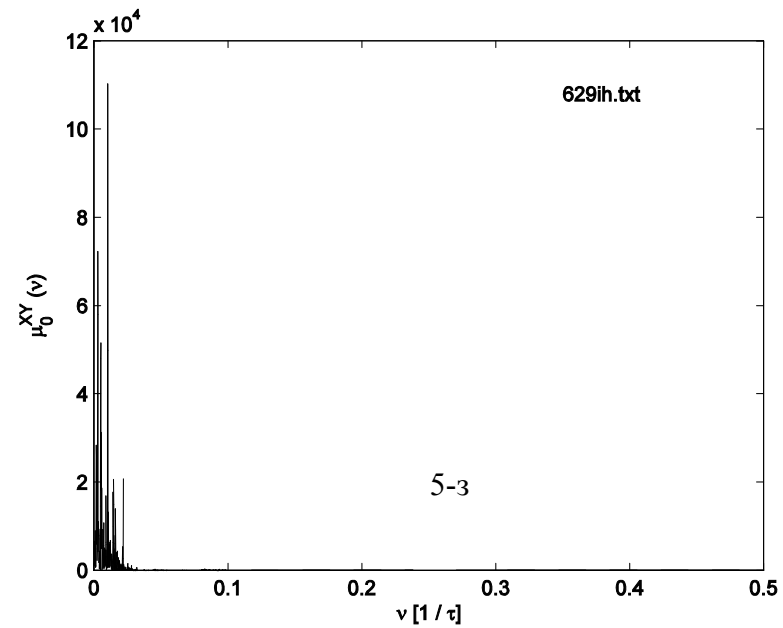
Пятый немусыкант прослушивает музыку



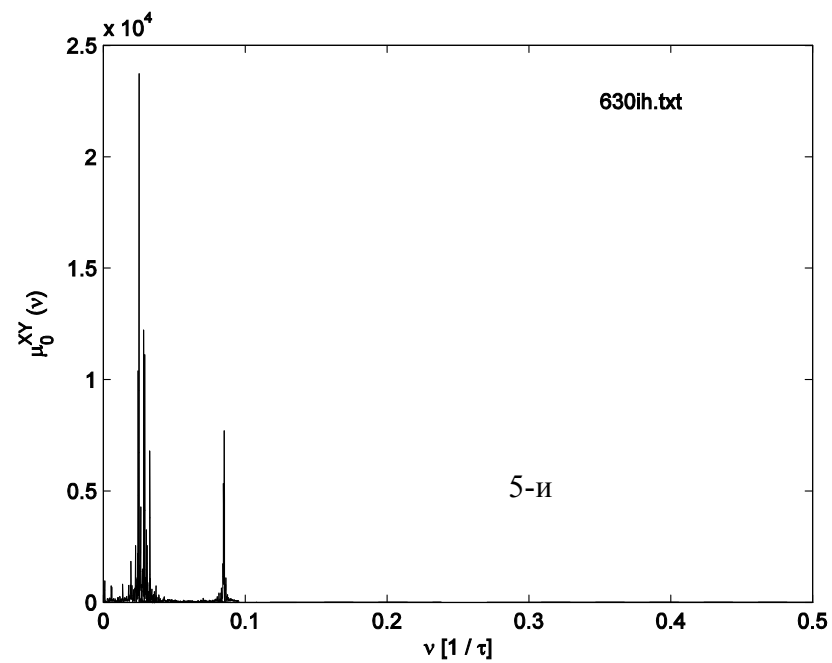
Шестой немусыкант прослушивает музыку



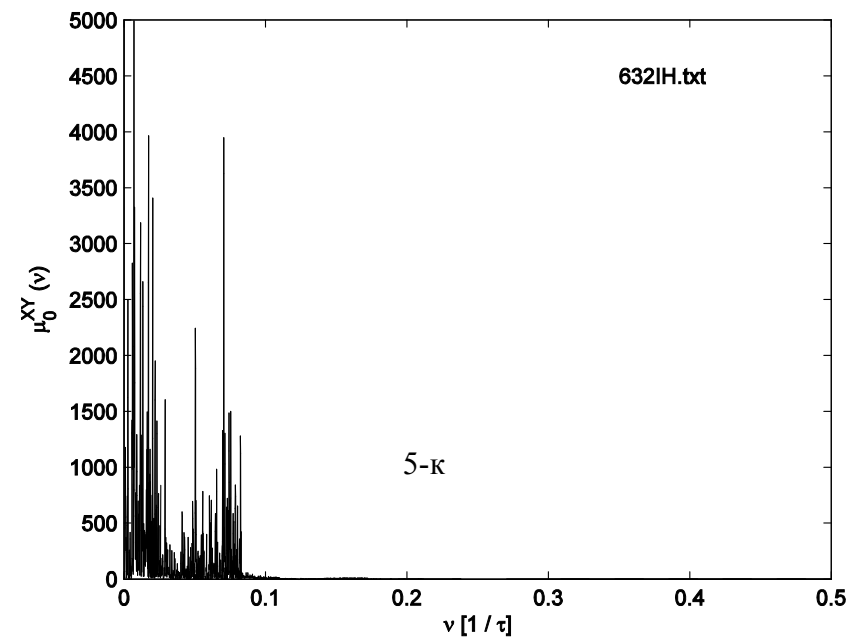
Седьмой немусыкант прослушивает музыку



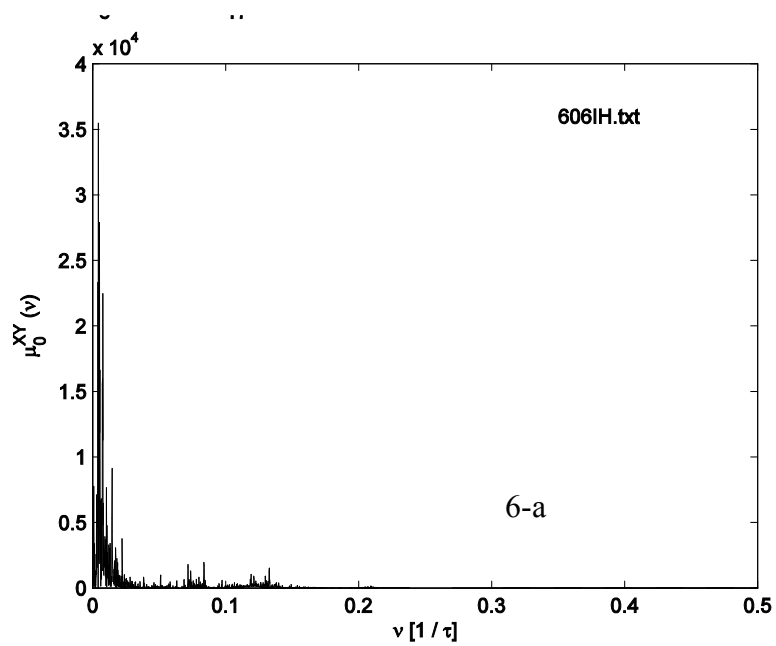
Восьмой немусыкант прослушивает музыку



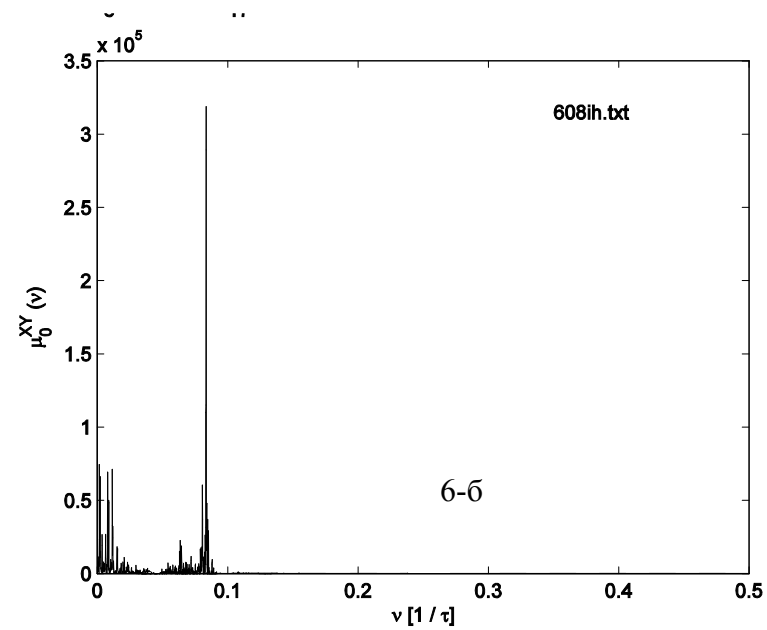
Девятый немусыкант прослушивает музыку



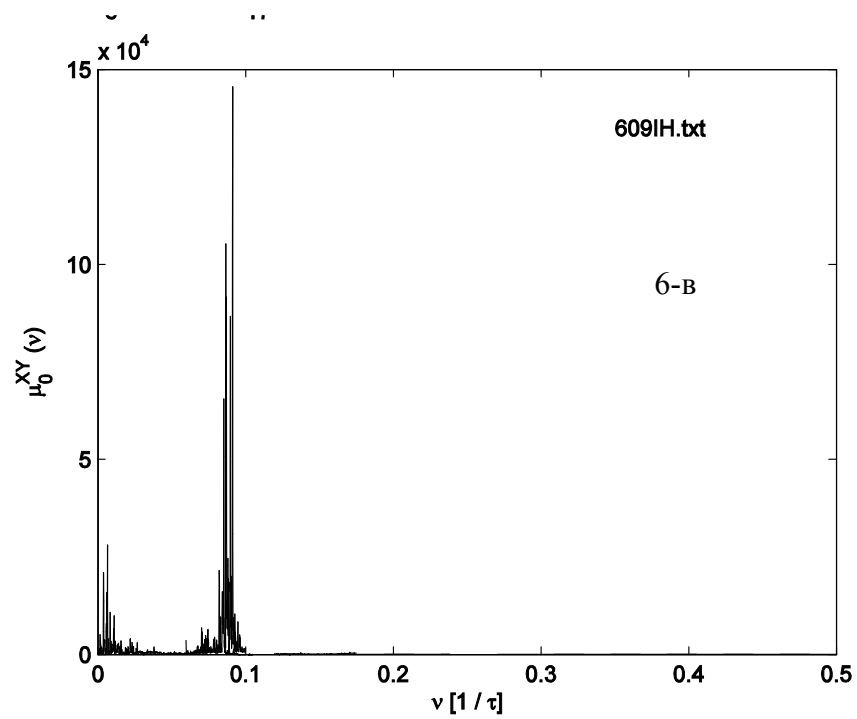
Десятый немусыкант прослушивает музыку



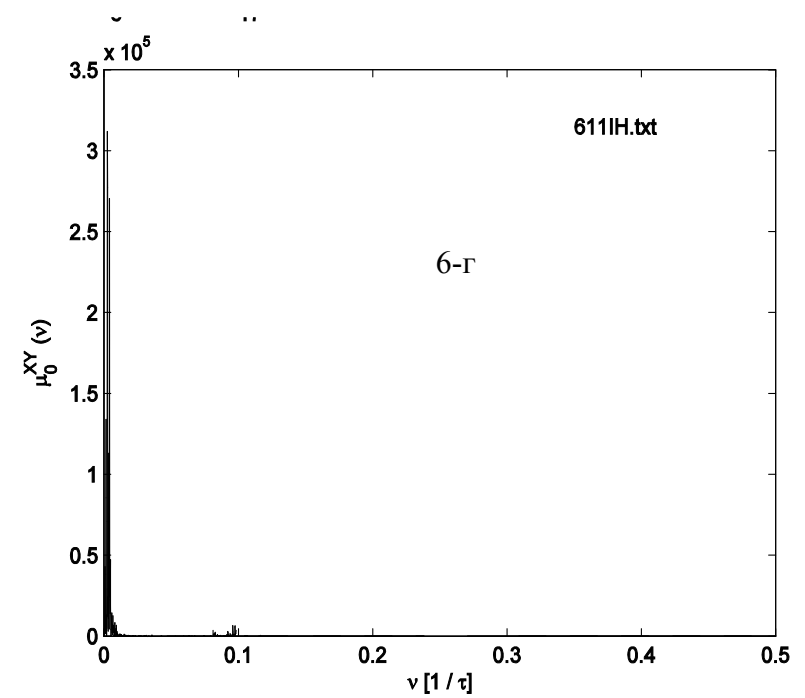
Первый музыкант немусыкант прослушивает текст



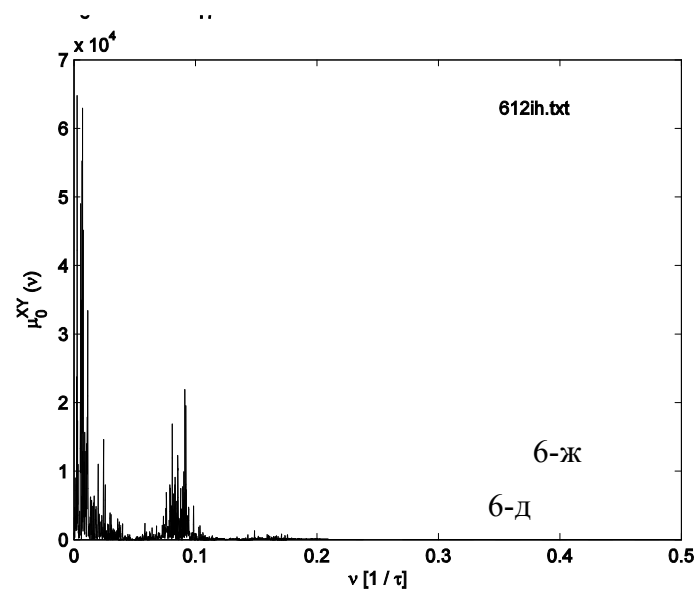
Второй музыкант прослушивает текст



Третий музыкант прослушивает текст

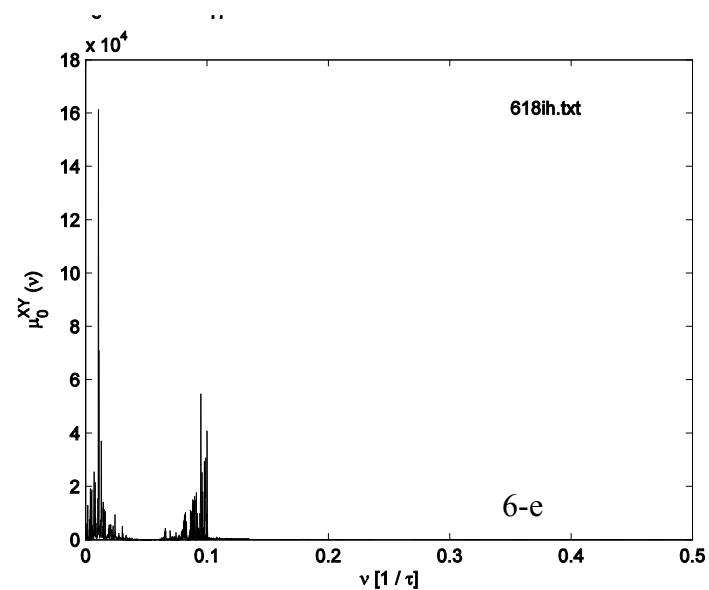


Четвертый музыкант прослушивает текст



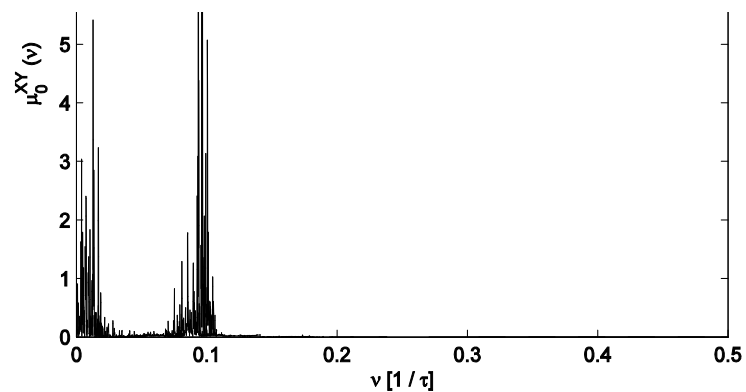
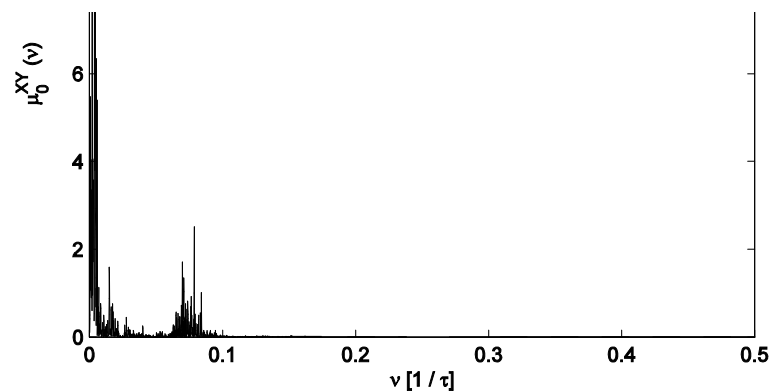
Пятый музыкант прослушивает текст

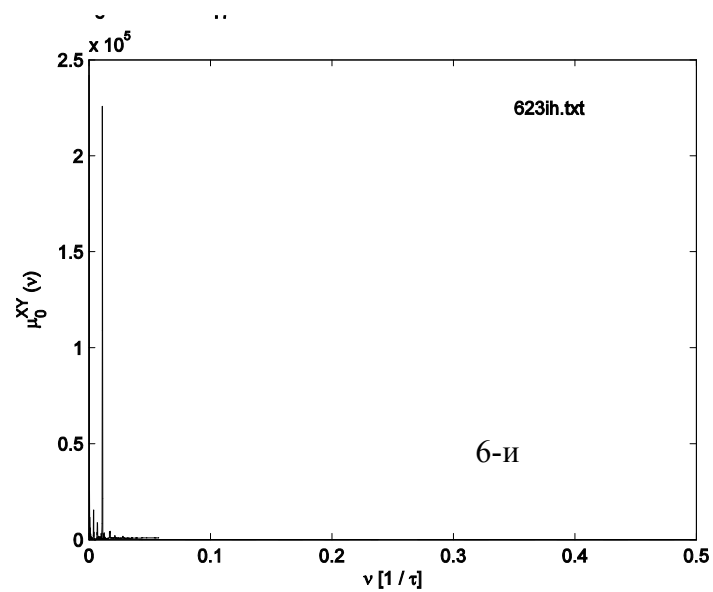
Седьмой музыкант прослушивает текст



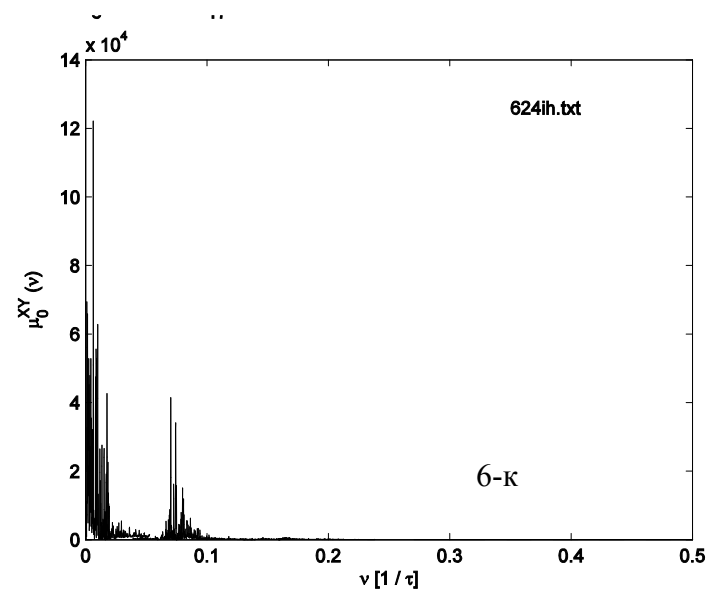
Шестой музыкант прослушивает текст

Восьмой музыкант прослушивает текст

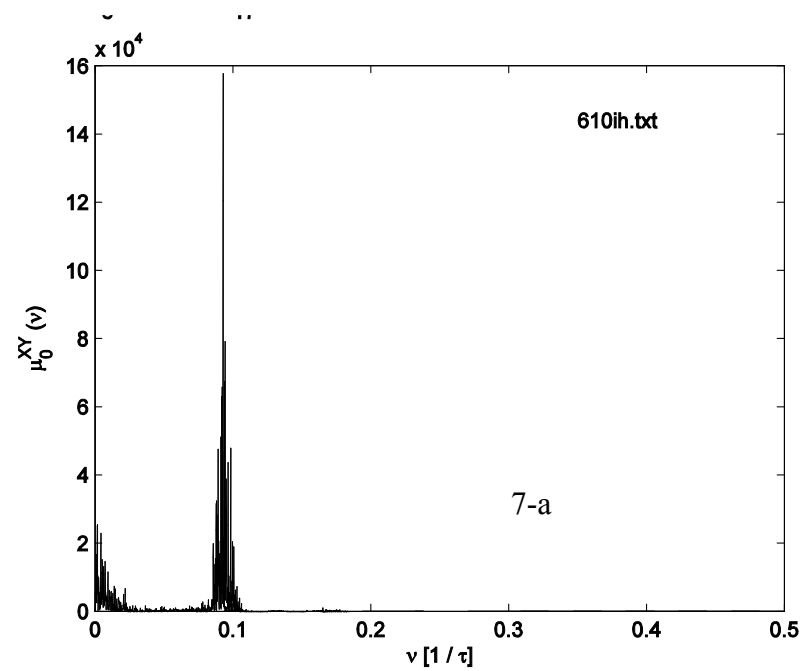




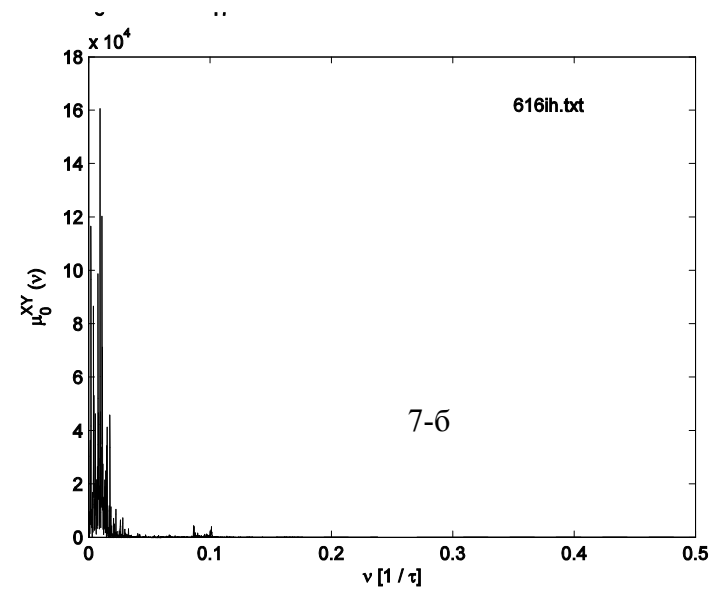
Девятый музыкант прослушивает текст



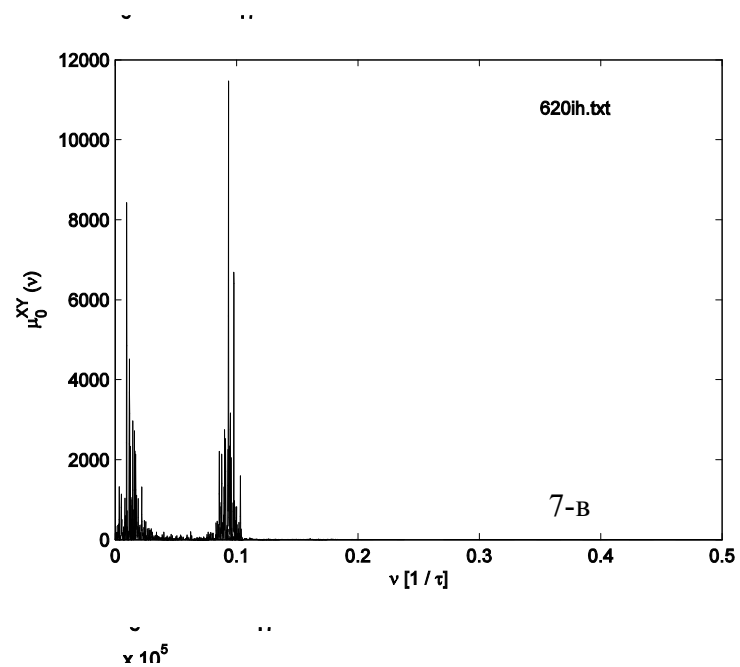
Десятый музыкант прослушивает текст



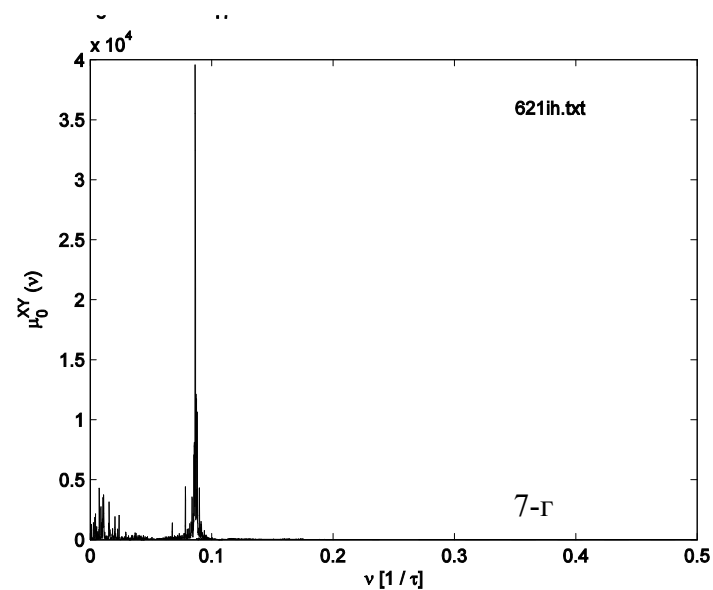
Первый немусыкант прослушивает текст



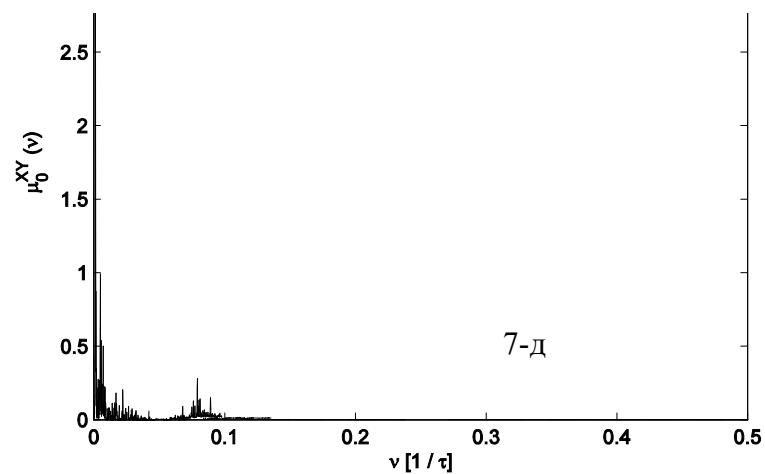
Второй немусыкант прослушивает текст



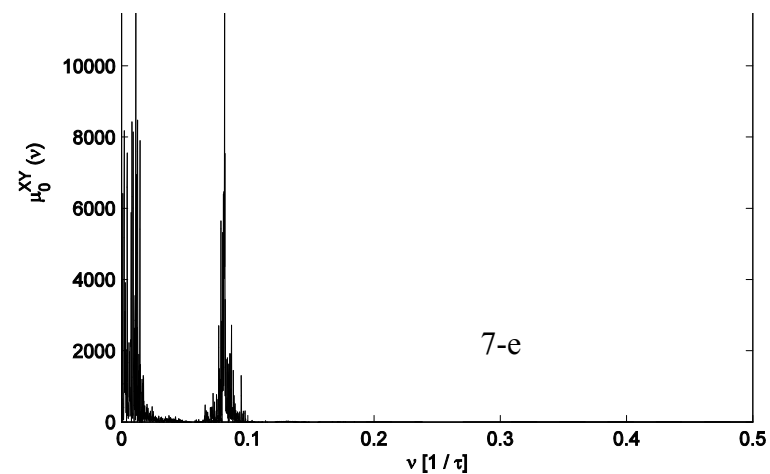
Третий немусыкант прослушивает текст



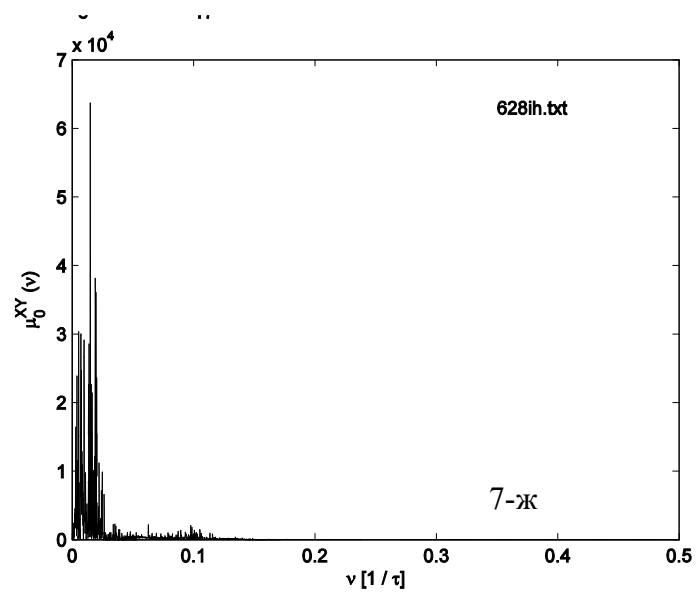
Четвертый немусыкант прослушивает текст



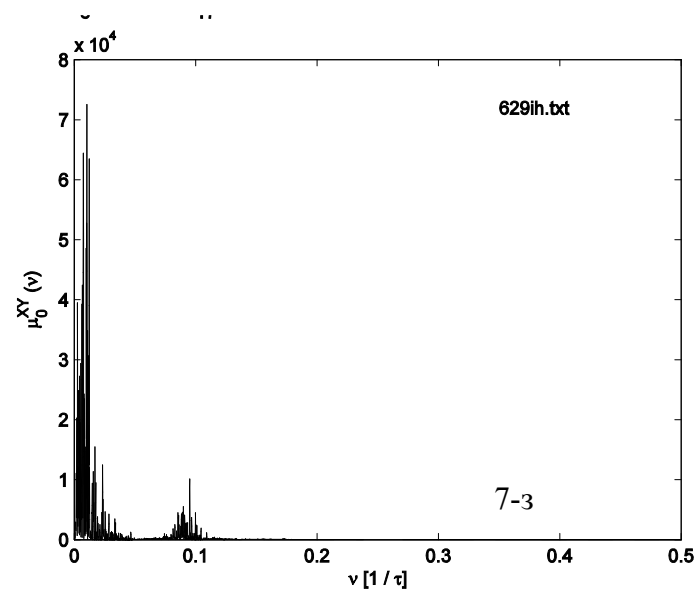
Пятый немусыкант прослушивает текст



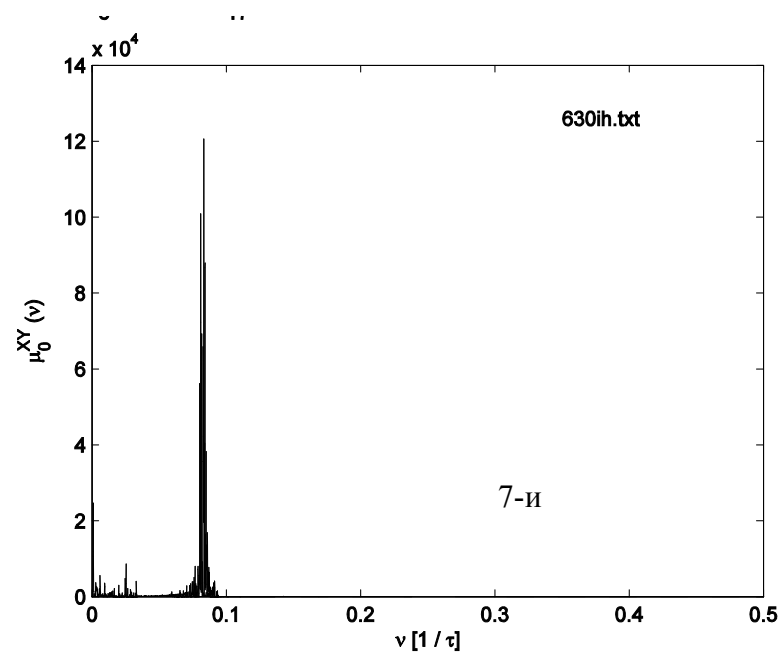
Шестой немусыкант прослушивает текст



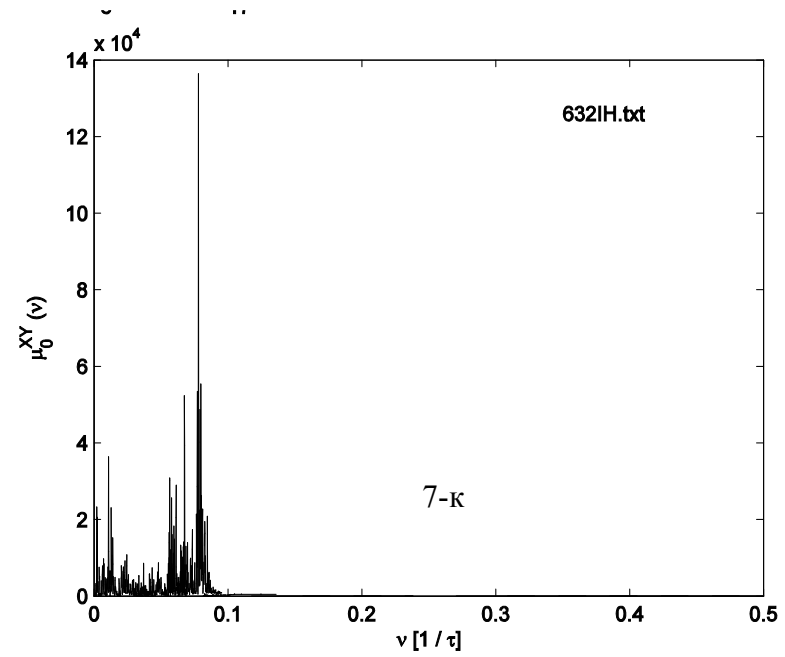
Седьмой немусыкант прослушывает текст



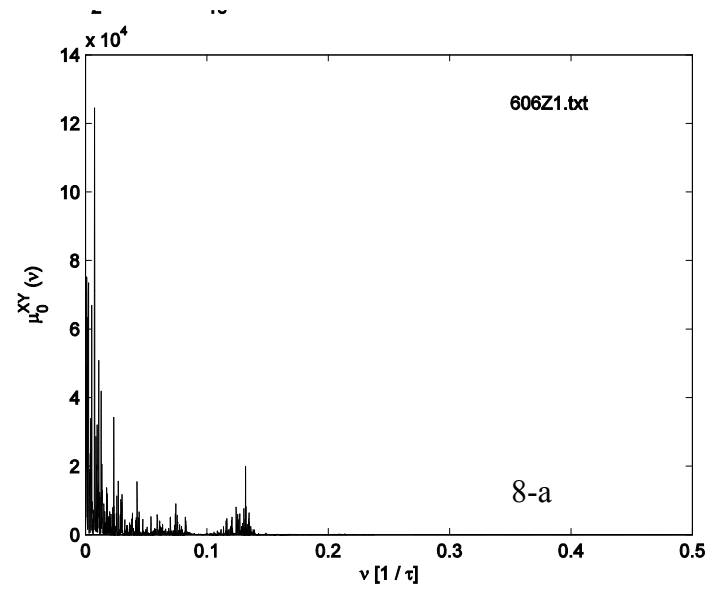
Восьмой немусыкант прослушывает текст



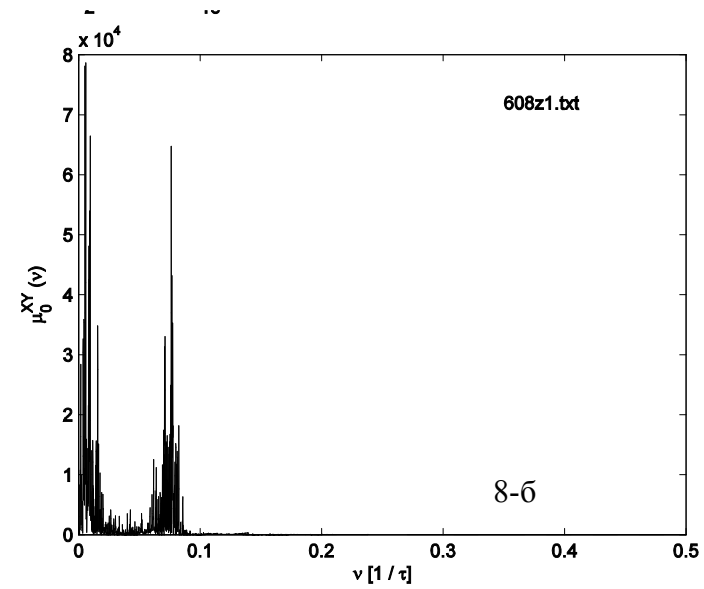
Девятый немусыкант прослушывает текст



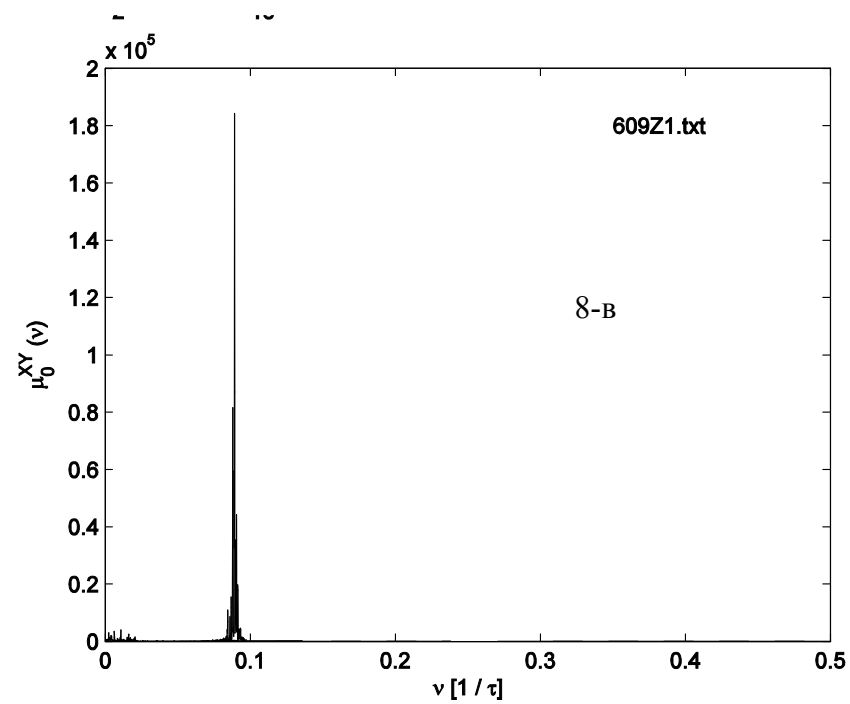
Десятый немусыкант прослушывает текст



Первый музыкант отдыхает с закрытыми глазами



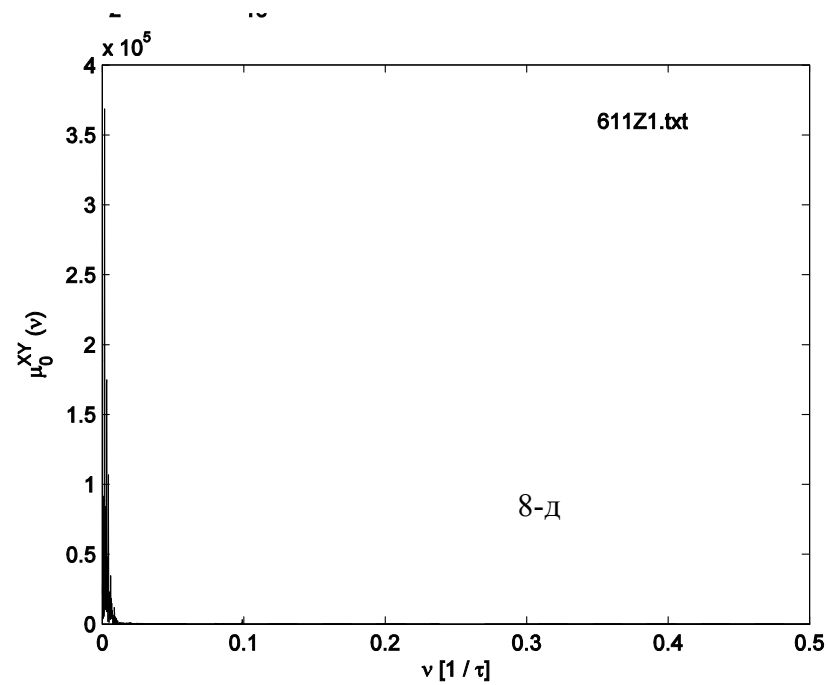
Второй музыкант отдыхает с закрытыми глазами



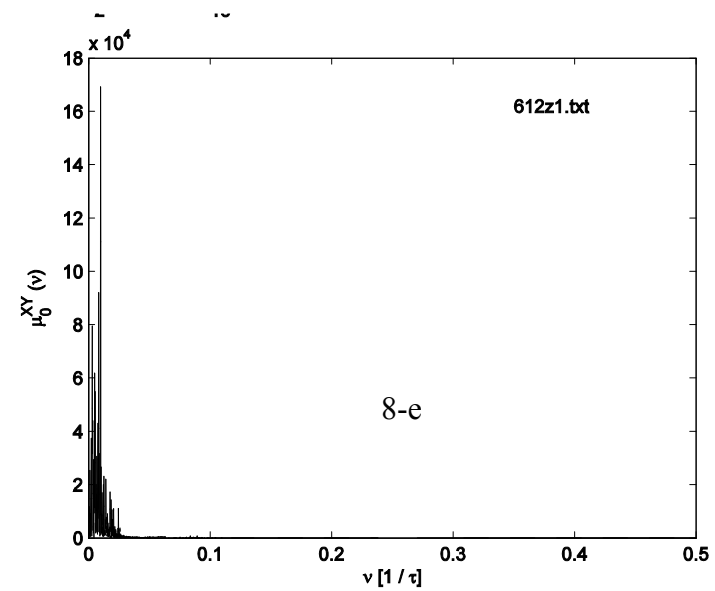
Третий музыкант отдыхает с закрытыми глазами

8-Г

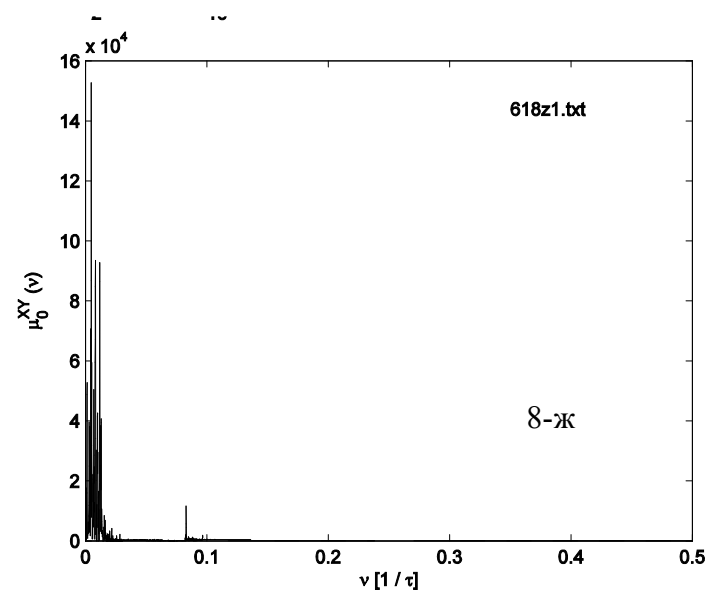
Четвертый музыкант отдыхает с закрытыми глазами



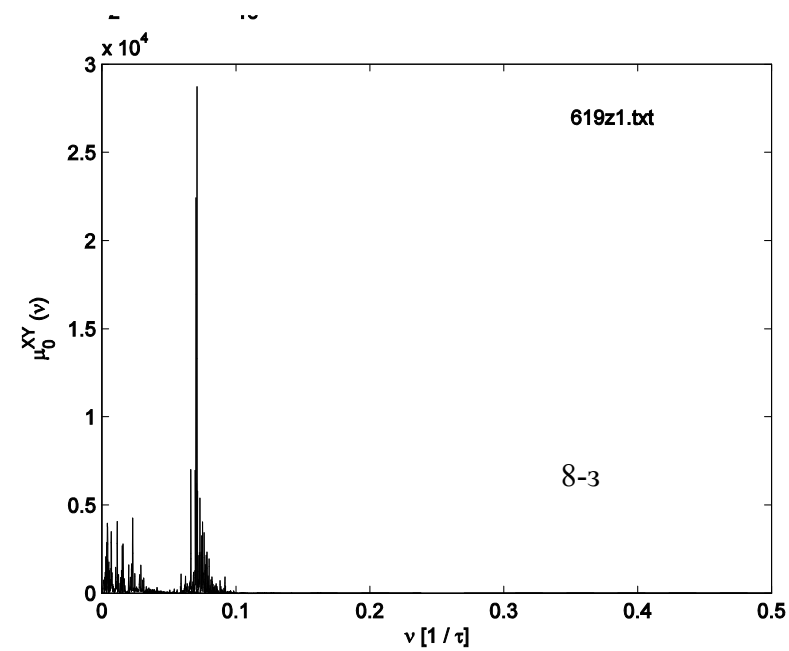
Пятый музыкант отдыхает с закрытыми глазами



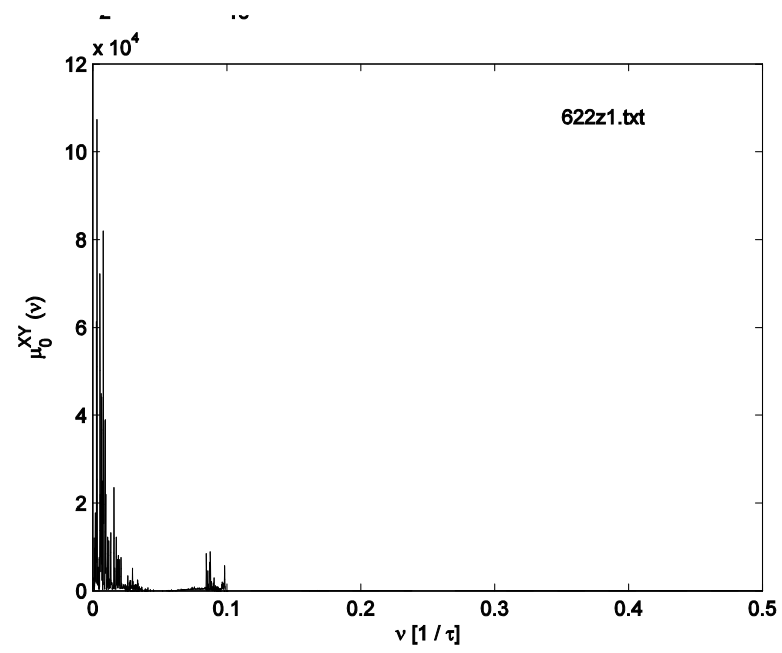
Шестой музыкант отдыхает с закрытыми глазами

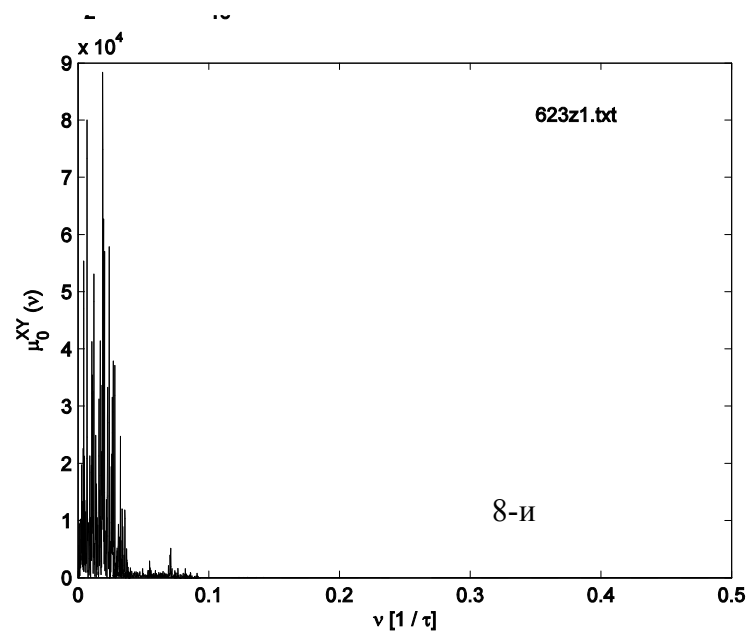


Седьмой музыкант отдыхает с закрытыми глазами

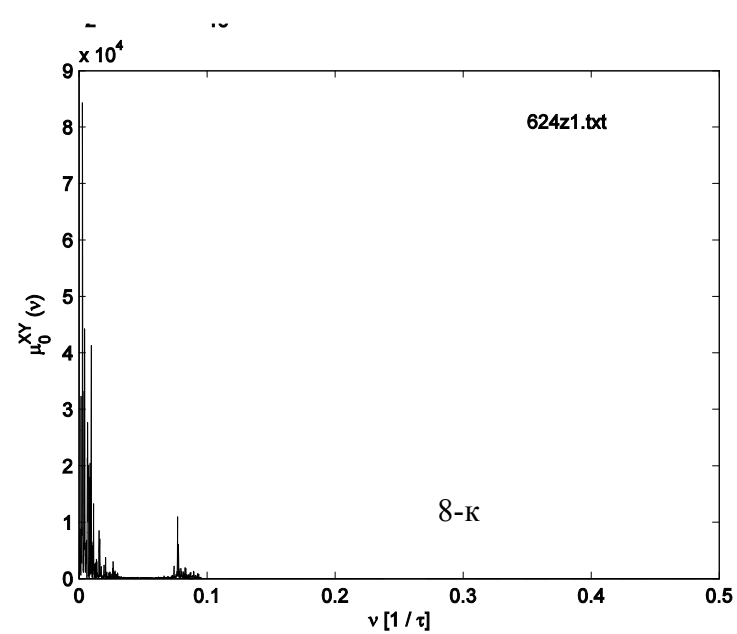


Восьмой музыкант отдыхает с закрытыми глазами

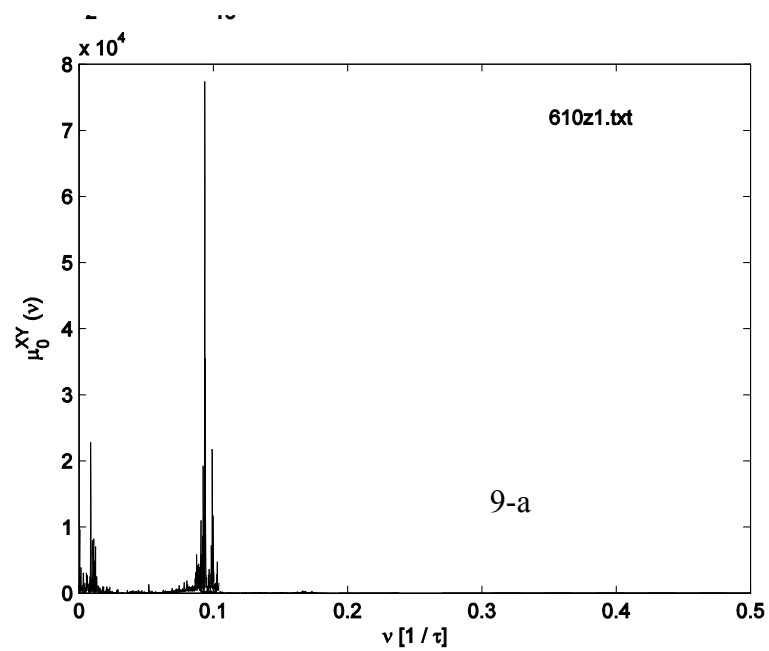




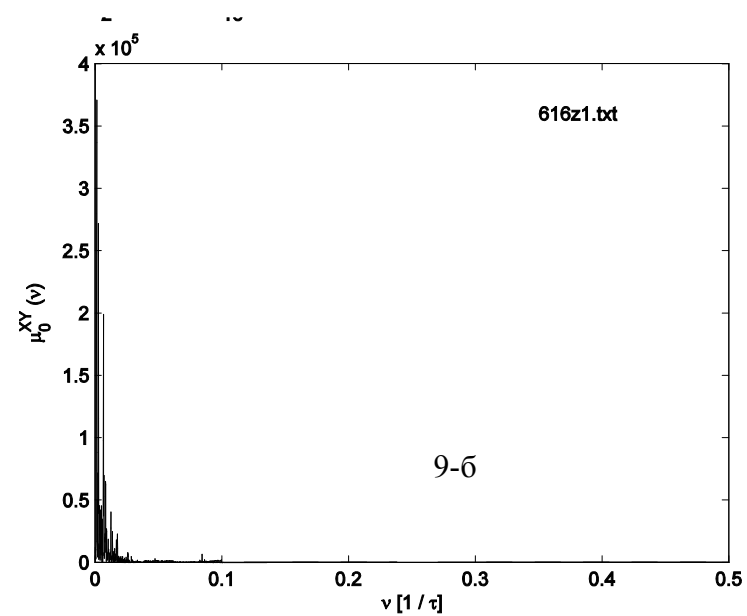
Девятый музыкант отдыхает с закрытыми глазами



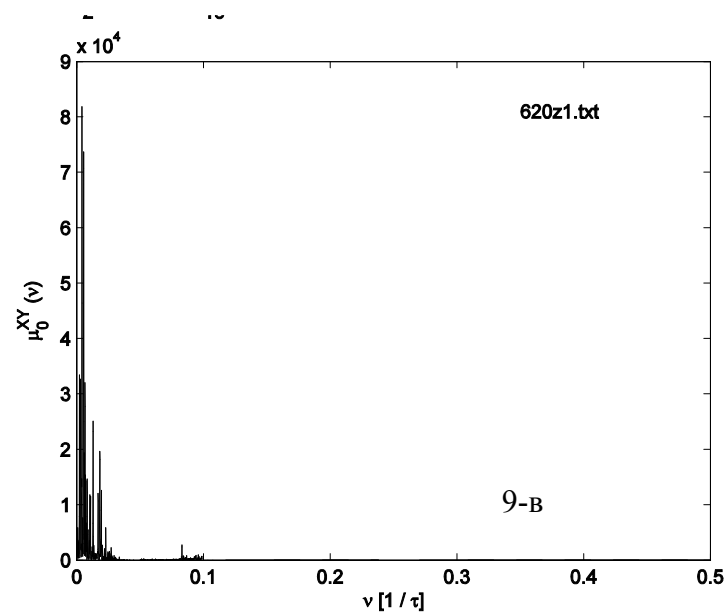
Десятый музыкант отдыхает с закрытыми глазами



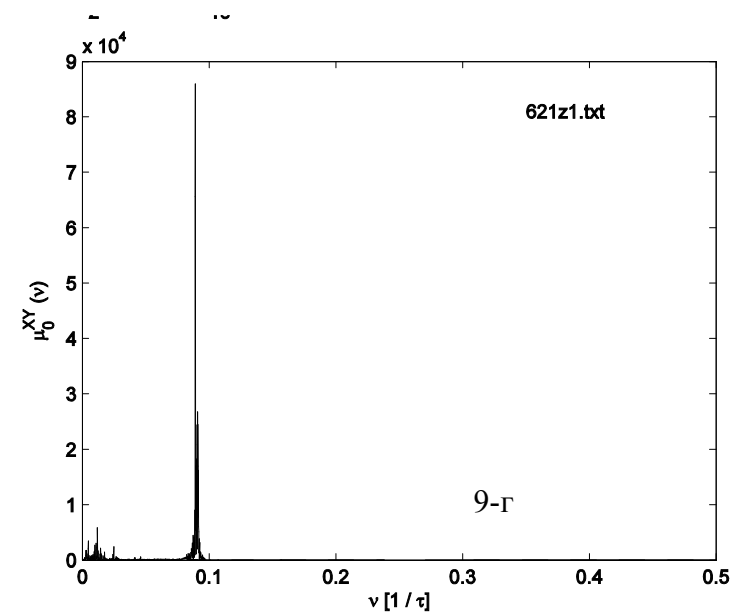
Первый немусыкант отдыхает с закрытыми глазами



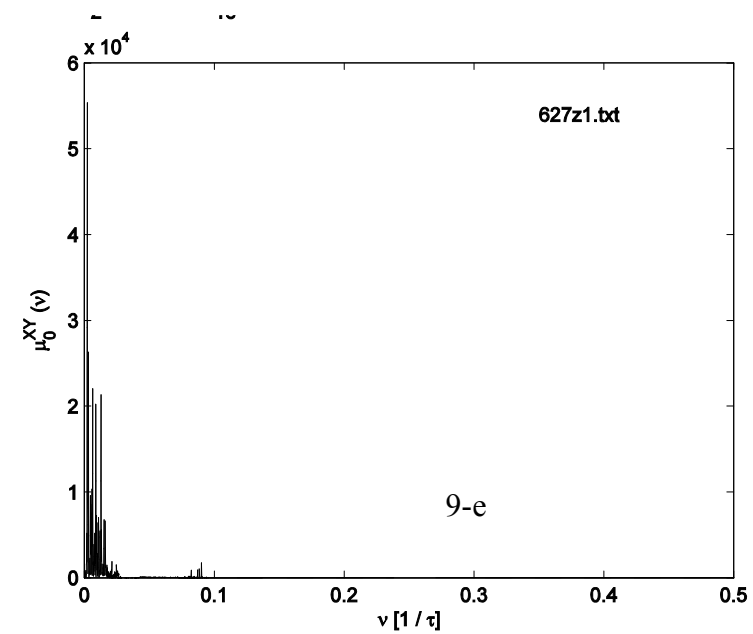
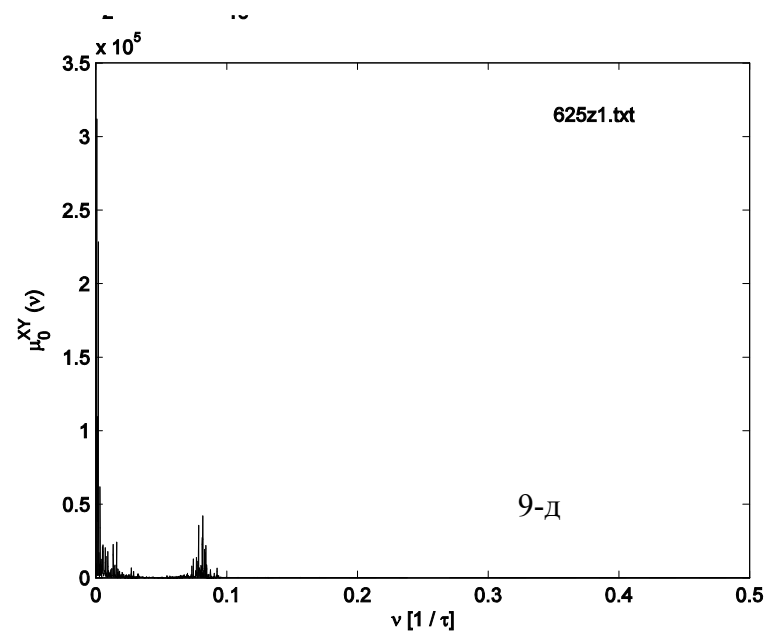
Второй немусыкант отдыхает с закрытыми глазами



Третий немусыкант отдыхает с закрытыми глазами

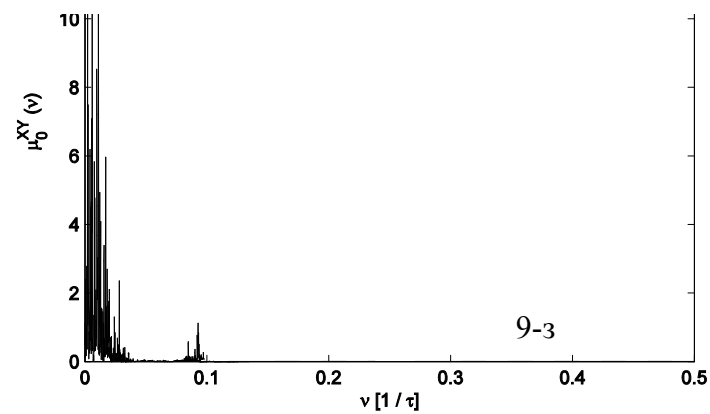
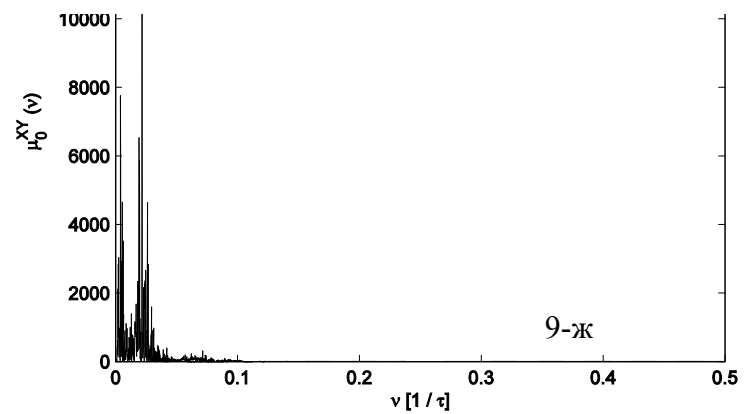


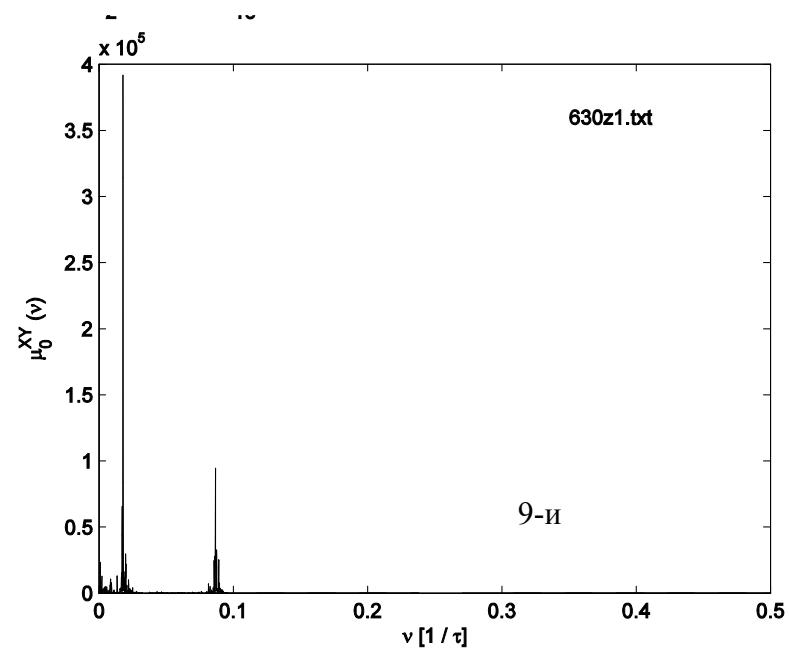
Четвертый немусыкант отдыхает с закрытыми глазами



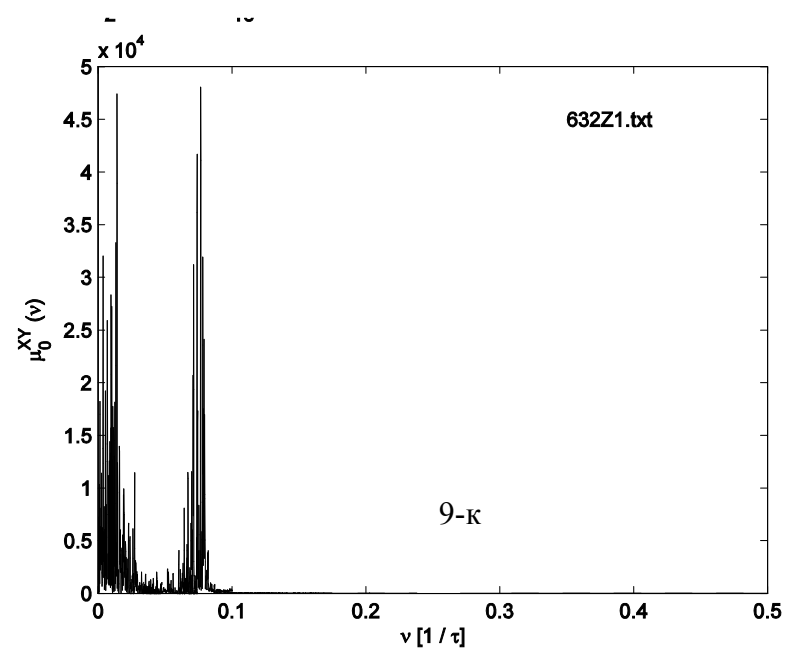
Пятый немусыкант отдыхает с закрытыми глазами

Шестой немусыкант отдыхает с закрытыми глазами





Девятый немусыкант отдыхает с закрытыми глазами



Десятый немусыкант отдыхает с закрытыми глазами

