

DOI 10.30898/1684-1719.2020.2.2

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МИКРОВОЛНОВОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ АКТИВНОСТИ ГОЛОВНОГО МОЗГА ЧЕЛОВЕКА

Л. И. Брусиловский<sup>1</sup>, А. С. Брюховецкий<sup>2</sup>, С. П. Кожин<sup>3</sup>,

П. Г. Серафимович<sup>4</sup>, А. В. Никоноров<sup>4</sup>

<sup>1</sup>ООО «ЭЛЬБРУС Корпорация», 117334, Москва

<sup>2</sup>ЗАО «Клиника интервенционной неврологии и восстановительной терапии  
«Нейровита», 115478, Москва

<sup>3</sup>АО «НПП «Исток» им. Шокина», 141190, Фрязино, Московская область

<sup>4</sup>Институт систем обработки изображений РАН, 443001, Самара

Статья поступила в редакцию 28 января 2020 г.

**Аннотация.** Представлены неинвазивные исследования собственного электромагнитного излучения (ЭМИ) головного мозга человека (ГМЧ) в широком диапазоне частот от 850 МГц до 26,5 ГГц. Исследования проводились специализированным измерительным оборудованием – анализатором спектра последнего поколения с высокой чувствительностью и скоростью регистрации ЭМИ, специализированными измерительными антеннами и малошумящей усилительной аппаратурой в защищенной среде безэховой экранированной камеры (БЭК) 1-го класса защиты. В результате были зарегистрированы ранее неизвестные микроволновые ЭМИ УВЧ/СВЧ-диапазона (от 1,5 до 4,5 ГГц) с мощностью сигналов на уровне -130 дБм -100 дБм ( $1 \cdot 10^{-15}$  -  $1 \cdot 10^{-13}$  Вт), имеющие зональные различия в различных областях головы человека и отсутствующие при измерениях от других участков тела обследуемых. Регистрация микроволновых излучений ГМЧ открывает новый информационный канал, который позволит разработать технологию микроволновой энцефалографии (МВЭГ).

**Ключевые слова:** высшая нервная деятельность, головной мозг человека, микроволновая энцефалография МВЭГ, нейродиагностика, электромагнитное излучение.

**Abstract.** Non-invasive studies of intrinsic electromagnetic radiation (EMR) of the

human brain in a wide frequency range from 850 MHz to 26.5 GHz are presented. The researches were carried out by specialized measuring equipment - the latest generation spectrum analyzer with high sensitivity and electromagnetic radiation detection rate, specialized measuring antennas and low-noise amplifying equipment in a protected environment of an anechoic shielded chamber (APC) of the 1st class of protection. As a result, previously unknown microwave UHF/SHF range (from 1.5 to 4.5 GHz) with a signal power of -130 dBm -100 dBm ( $1 \cdot e^{-15}$  -  $1 \cdot e^{-13}$  W) were recorded having zonal differences in different areas of the human head and absent from measurements from other parts of the body of the patients. The registration of microwave radiation by the human brain opens a new information channel that will allow the development of the technology of microwave encephalography (MWEG).

**Key words:** electromagnetic radiation, higher nervous activity, human brain, microwave encephalography MWEG, neurodiagnosis.

## 1. Введение

### 1.1. Роль электромагнетизма в познании нашего мира

Для раскрытия сущности явления современная наука использует развитые инструментальные средства и разработанный математический аппарат. Например. Наблюдаемый нами вещественный мир имеет молекулярную природу. Состав, строение, свойства молекул, их взаимодействия и реакции составляют область естествознания, которая называется химией. Поэтому, химия во многом определяет всю нашу жизнь. Но более глубокие инструментальные исследования показали, что вещество состоит из атомов, которые формируют молекулы через внутренние связи, в основе которых электромагнетизм. Т.е. оказалось, что химические законы вторичны, а первичны для них – электромагнитные взаимодействия [1].

В настоящее время в научном мире для объяснения природы материи принята квантово-механическая модель, называемая Стандартной (СМ). Но создание СМ было бы невозможным без технологического развития, с одной стороны, астрономии (мощные радиотелескопы, в том числе выведенные в космос), а с другой стороны - ядерной физики (мощные ускорители частиц,

например, Большой адронный коллайдер, имеет мощность в 14 000 ГэВ). А новые факты, которые могут быть объяснены существованием темной материи и темной энергии, не вписываются в СМ, и для ее развития и создания новой физики требуются еще более мощные инструменты.

Эти же соображения справедливы для понимания природы сознания – величайшей задачи для исследователей мироздания. Она напрямую связана с исследованием структуры и функционирования ГМЧ. Лауреат Нобелевской премии по физиологии и медицине 1904 года академик И.П.Павлов ввел в нейрофизиологию понятие высшей нервной деятельности (ВНД) человека. Он утверждал, что человек думает корой головного мозга [2]. До сих пор исследователи-нейрофизиологи уверены в этом и считают, что если снять сигналы с коры ГМЧ, то можно зарегистрировать его мысли. Требуется глубинное изучение ВНД с применением специального измерительного инструментария, изучение ее электромагнитной природы.

## **1.2. Математический аппарат для обработки сигналов**

Любое электромагнитное явление регистрируется как электромагнитный сигнал в виде волновой функции во времени. Еще в XVIII веке французский математик Жан Фурье (Jean Fourier) предложил представить такую функцию набором из одной или нескольких гармонических составляющих (синусоид и/или косинусоид) с соответствующими частотами, амплитудами и фазами, который называют **спектром**, **Фурье-образом** или **рядом Фурье**. Таким образом, преобразования Фурье трансформируют функции во временной области в функции в частотной области, содержащие информацию об амплитуде и фазе. Это позволяет показать, сколько энергии имеется на каждой конкретной частоте.

Теория Фурье позволила разработать математический аппарат – **спектральный анализ**, основой которого стали преобразования Фурье. В свою очередь, спектральный анализ позволил заменить анализ непрерывной непериодической волновой функции, измеренной на конечном временном интервале, на значительно более простой анализ ее дискретного ряда Фурье,

представленного на этом интервале. Также был разработан математический аппарат, позволяющий средствами обратного Фурье-преобразования решать задачу синтеза сигнала по его спектру. Широко известно высказывание лорда Кельвина: «Теория Фурье не только является одним из самых изящных результатов современного анализа, но и даёт нам незаменимый инструмент в исследовании самых трудных вопросов современной физики».

Интересно, что ряд ученых находит в теории Фурье более глубокий смысл. Они утверждают, что Фурье-компоненты сигнала реальны, а не только формальный результат математического преобразования. С новой силой эта идея проявилась в квантовой механике, одно из ключевых положений которой состоит в том, что в микромире пространственно-временные и импульсно-энергетические представления не независимы (как в классической физике), а связаны преобразованием Фурье; из него сразу выводится принцип неопределённости [3].

Бурное развитие вычислительной техники дало мощный инструментарий для применения к обработке цифровых данных вычислительных методов. Персональные компьютеры (ПК) выделили из ряда алгоритмов Фурье-преобразований так называемые быстрые (БФП), наиболее эффективные для реализации на ПК. Кроме этого, преимущество подхода с БПФ в том, что появляется возможность анализировать односпышечные явления.

Второй важной компонентой современной технологии обработки экспериментальных данных является их цифровизация. Развитие радиоэлектроники позволило эффективно использовать средства аналого-цифрового преобразования (АЦП) для получения цифровых (дискретных) образов сигналов и цифро-аналогового преобразования (ЦАП) для обратной задачи синтеза аналогового сигнала из дискретных образов.

Развитие цифровой техники изменило и способы хранения данных измерений сигналов: их запись и хранение в аналоговом виде (например, на магнитофонной ленте) сменилось оцифрованными данными, хранящимися в файлах на внешних цифровых носителях компьютеров.

### 1.3. Квантовая физика и гипотезы о природе памяти

Формирование сознания человека основано на функционировании механизма памяти. Но что такое человеческая память? Как формируется память и как она формирует личность? Почему некоторые люди с удаленной частью мозга сохраняют речь, воображение, и, в конечном счете, память? И, наконец, самая большая тайна памяти - загадка ее местонахождения: где, в каком отделе мозга хранятся воспоминания, и можно ли найти этот тайник?

В середине XX века господствовало мнение, что память запечатлена в определенных клетках мозга в виде неких «следов памяти» – энграм, которых никто из исследователей к тому времени обнаружить не сумел, но почему-то все верили, что скоро их обязательно обнаружат [4]. Многочисленные совместные эксперименты ещё с начала 1940-х годов молодого нейрохирурга Карла Прибрама (Karl Pribram) вместе с выдающимся нейропсихологом Карлом Лэшли (Karl Lashley) в Йеркешской лаборатории высших приматов не только не позволили исследователям обнаружить подобный участок мозга, но и позволили прийти к важному предположению: память не локализуется в отдельных участках мозга, а распределяется каким-то образом по всему мозгу как единое целое. Однако в то время никакого объяснения своему предположению они найти не могли.

В середине 1960-х годов Прибрам познакомился с **голографией** (\*) и первыми опытами построения голограмм, одним из результатов нового и активно развивающегося раздела **квантовой физики**. Он предложил **нейронную голографическую гипотезу**: вся информация головного мозга, подобно оптической голограмме, распределена более или менее равномерно по коре мозга, и в каждом участке представлена информация о разных событиях. При этом хранение информации и память он связывал, в основном, с гиппокампальной областью, а процессы воспоминания (и соответственно осознания) с гиппокампальным тета-ритмом [5]. Т.е. Прибрам предположил, что существует опорный волновой процесс - стандартные волны-ритмы, которые пробегают по коре головного мозга, и на них накладываются волны,

которые приходят, например, от глаз. Их взаимодействие создает интерференционную картину.

Нейронная голографическая гипотеза не опровергает классические нейрофизиологические концепции; она обогащает их тем, что придает особое значение не нервным импульсам аксона, а микроструктуре медленных потенциалов, которая развивается в постсинаптических и дендритных сетях. В то же время голографическая гипотеза обогащает психологию, предоставляя в ее распоряжение правдоподобный механизм для понимания психологических явлений восприятия. [6]. Главная претензия ученых к теории Прибрама – это ее экспериментальная недоказанность.

*\* **Справка. Голография** – способ записи и восстановления волнового поля в светочувствительной среде, основанный на регистрации интерференционной картины, которая образована двумя волнами: объектной волной, отраженной предметом, освещаемым источником света, и когерентной с ней опорной волной, идущей непосредственно от источника. Зарегистрированную интерференционную картину назвали **голограммой** [7]. Голографический метод применим к волнам любой природы, но наибольшее развитие получила **оптическая голография** в области светового излучения, при которой голограмма представляет собой оптическую копию объекта. Бурный толчок в развитии голографии в середине 60-х годов был связан с применением в качестве источника лазера – квантового оптического генератора когерентного монохроматического излучения. Математической основой голографии стала **теория Фурье**, которая позволяла переводить паттерны любой сложности в набор простых волн.*

#### **1.4. Кодирование зрительных образов**

С помощью зрения человек получает 90% всей поступающей в головной мозг информации [8]. В 1979 году нейрофизиологи из Беркли Рассел и Карен Девалуа (Russell & Caren De Valois) сделали важное открытие для объяснения формирования визуальной картины мира. Они преобразовали методом Фурье черно-белые клетки зрительных образов в простые волновые формы, а затем

экспериментально выяснили, что нейроны в зрительной части коры головного мозга реагируют не на первоначальные образы, а на эти новые волновые формы [9]. Из этого следовал вывод: для формирования зрительных образов в мозгу используется преобразование видимых образов в волновые формы. Открытие Девалуа было впоследствии подтверждено во многих лабораториях мира. Таким образом, у современных нейрофизиологов сложилась уверенное представление о том, как наш мозг преобразует отражение мира окружающих нас предметов («мир вне нас») во внутренний мир образов («мир внутри нас»). Физические сигналы внешнего мира принимаются рецепторами каждой из сенсорных систем, преобразуются выходными ячейками рецепторов в форму потенциалов действия (Фурье-преобразование) и таким образом в виде прямоугольных токовых сигналов – нейронных кодов, передаются в мозг по нейронным цепям. Их изображение формирует паттерны нейронной активности [10]. На этой гипотезе основываются многие современные исследования, в том числе инвазивные.

## **1.5. Неинвазивные методы исследования**

### **1.5.1. Электрофизиологические методы. Биоритмы мозга**

Самые распространенные электрофизиологические методы исследования основаны на регистрации суммарной электромагнитной активности коры ГМЧ специальными датчиками и записи в виде временных диаграмм. Основателем этих методов в конце 20-х годов XX века стал немецкий нейрофизиолог Ганс Бергер (Hans Berger), который обнаружил чередования возбуждающих и тормозных потенциалов в группах корковых нейронов: так называемые волны или ритмы. Основные: альфа-ритм (8 – 13 Гц), бета-ритм (13 – 40 Гц), дельта-ритм (0,5 – 4 Гц), тета-ритм (4 – 8 Гц), гамма (30 – 100 Гц). Зарегистрированы и более медленные частоты электрических потенциалов головного мозга вплоть до периодов порядка нескольких часов и суток. Каждая из этих групп представляет собой особый тип корковой активности и соотносится нейрофизиологами с такими состояниями сознания, как тревога, спокойствие, сновидение или состояние сна. Одновременно регистрируется смешанная

активность разных ритмов и их локализация [11]. Классификация ритмов волн мозговой активности изменяется в процессе того, как ученые получают новые сведения о мозге, состояниях сознания и ВНД. Тем не менее, следует подчеркнуть, что разбиение ритмических составляющих на группы достаточно произвольно и однозначно не соответствует никаким физиологическим категориям [12].

Основные электрофизиологические методы – это **электроэнцефалография (ЭЭГ)**: регистрация электрической активности на поверхности кожи головы человека специальными датчиками и **магнитоэнцефалография (МЭГ)**: регистрация магнитной составляющей активности в коре головного мозга с помощью сверхпроводящих квантовых интерференционных датчиков (СКВИДов), заполненных жидким гелием (температура около 4°К), которыми можно измерять магнитные поля даже очень слабой интенсивности в специальной камере, изолирующей магнитные поля мозга от более сильных внешних полей [13,14,15,16].

Исследование «ритмов Бергера» ГМЧ стало очень популярным прежде всего в силу доступности их использования и наглядности собранных данных. Кроме того, эти методы безопасны для мозга человека, позволяют наблюдать функциональное состояние ГМЧ в течение от долей мс до нескольких часов. Но на сегодняшний день электрофизиологические методы диагностики не способны реально отражать ВНД человека: память, мышление, интеллект, когнитивные (познавательные) функции мозга человека. Они отражают состояние активности коры мозга, но не показывают информационных отношений между различными отделами мозга и не способны отразить процессы формирования речи, мышления и интеллекта. На практике эти методы позволяют выявлять судорожные зоны и реально эффективны для диагностики эпилепсии, что служит основанием для нейрохирургических операций.

### 1.5.2. Томографические методы

Томографические методы исследования основаны на воздействии на ГМЧ рентгеновским или электромагнитным излучением и радиоизотопами. При этом также производится регистрация морфологического или функционального состояния групп нейронов коры ГМЧ либо в низком диапазоне частот, от 0,3 до 250 Гц, либо их слабых магнитных полей (порядка  $10^{-15}$  Тл). Это даёт обширную информацию о структуре ГМЧ, позволяет строить 3-мерное послойное изображение его анатомической структуры, её патологических изменений, но не даёт информации о физиологических процессах. Методы эффективны для диагностики самых распространенных заболеваний головного мозга: инсульта, травматических болезней головного и спинного мозга, рассеянного склероза, болезни Альцгеймера и Паркинсона, эпилепсии, нейроонкологических заболеваний, но имеют ограниченное применение для объяснения ВНД. К тому же некоторые методы вредны для здоровья человека при частом использовании. Заметим, что томографическое оборудование очень дорогое: от десятков тысяч до нескольких миллионов долларов США и реально используется в России и в мире только в самых крупных медицинских учреждениях и медицинских научных центрах.

### **1.6. Инвазивные методы исследования**

Познать, как именно формируется память, сознание, призваны современные методы инвазивных исследований. В основу инвазивных исследований положены научные представления о том, что ГМЧ состоит из огромного количества нервных клеток - нейронов, каждый из которых является генератором собственного электрического импульса длительностью около 1 мс [17], объединенных в нейронные сети [18,19]. Имплантация в мозг микро-электродов и микро-чипов позволяет регистрировать активность отдельных нейронов, стимулировать их активность и наблюдать реакцию. Технологическим совершенством характеризуется проект инвазивных исследований мозга и создания нейрокомпьютерного интерфейса компании Neurilink Илона Маска (Elon Musk), основанный на внедрении в кору мозга

пучков шелковых нитей-датчиков [20]. Экспериментально установлено, что не отличаются электрические потенциалы нейрона - коды, снятые с электрода как внутри нейрона, так и на расстоянии до 60 микрон от нейрона. Именно в такие области вводятся нити из шелка диаметром 4-6 микрон. В нить встроены кремниевые транзисторные массивы – электроды. Для автоматического вживления нитей сконструирован специальный хирургический робот, который устанавливает их с учетом миниатюрных размеров, движения коры мозга (дыхание, кровоснабжение) и обходящий кровеносные сосуды, чтобы сократить риск воспалительного процесса. Игла аппарата захватывает нить за петлю и внедряет ее в мозг. Диаметр иглы 24 микрона. За 1 минуту устройству удастся ввести до 6 нитей. Все данные считываются при помощи специально разработанного чипа N1, объединяющего в пучок 1024 нити, который в свою очередь передает их нейронные коды при помощи интерфейса USB-C. Чипы N1 соединяются с коммутатором, расположенным за ухом человека, который питает чипы и связан по bluetooth со специальным мобильным приложением N1. Управление телефоном будет происходить за счет активности мозга и наоборот. В настоящее время эксперименты ведутся с 4-мя пучками – 4096 нитями, а в перспективе – до 100 000 нитей.

Суть исследований Neurilink заключается в наборе статистики интерактивного информационного воздействия на рецепторы и обработки собранных нейронных кодов методами BigData. Ожидается, что статистические нейронные коды из целевых областей мозга (зрительной, слуховой, тактильной и т.д.) соответствуют поступающей в мозг информации и позволят вызывать адекватные зрительные, слуховые, тактильные образы и двигательные действия у людей с деградированной сенсорной системой. Статистический подход связан с тем, что отдельный нейрон недетерминированно реагирует на внешние сигналы: возникновение потенциала действия дополнительно связано со множеством внутренних биохимических факторов. Естественно, «мир внутри нас» - мир образов, уже должен быть сформирован за время здоровой жизни человека. Мы не встречали

сообщения о возможности формирования новых образов у человека только искусственно синтезированными нейронными кодами. Интересно, что Илон Маск рассматривает свои инвазивные исследования как первый шаг к слиянию головного мозга человека с искусственным интеллектом на базе суперкомпьютеров и этим переходу на следующий уровень развития нашей цивилизации.

### **1.7. Исследования воздействия низкоинтенсивными излучениями крайне высокой частоты на биологические объекты**

Развитие микроволновой техники также оказало влияние на исследование электромагнитных излучений мозга. В середине 60-х годов прошлого века советские ученые: академик Н.Д.Девятков и профессор М.Б.Голант, изобрели первый в мире широкополосный генератор электромагнитных волн миллиметрового диапазона (30...300 ГГц, диапазон крайне высоких частот - КВЧ) на основе лампы обратной волны с продольным магнитным полем (ЛЮБ-О) [21]. Это позволило обнаружить необычные биофизические свойства и возможную биоинформационную роль низкоинтенсивных миллиметровых излучений. Ученые объясняли это тем, что естественные электромагнитные волны миллиметрового диапазона, излучаемые Солнцем и планетами, поглощаются водными парами атмосферы Земли и не достигают ее поверхности. Поэтому живые организмы могут не иметь естественных (эволюционных) механизмов приспособления к колебаниям заметной интенсивности в этом диапазоне, обусловленных внешними причинами. Однако, этот «беспомеховый» КВЧ-диапазон частот мог быть использован живыми организмами для собственных нужд в целях передачи информации (управляющих сигналов) между клетками внутри живых организмов [21,22]. Также было сформулировано положение о том, что ключевыми средами в восприятии электромагнитных полей являются вода и водные растворы, а КВЧ-сигналы в биологических объектах генерируются клеточными мембранами.

В ходе многолетних исследований и клинических работ с воздействием низкоинтенсивными электромагнитными КВЧ-излучениями на биологические

объекты ученые выявили набор дискретных проникающих («резонансных») частот нетеплового (информационного) воздействия на биологические объекты, основные 42,2 и 53,5 ГГц [21,22], объясняя их частотами согласованного управления клетками и органами. Также было сформулировано положение о том, что вода и водные растворы являются ключевыми средами в восприятии электромагнитных полей (СПЕ-эффект) [23]. Уполномоченными органами Минздрава СССР были одобрены методики применения КВЧ-терапии в клинической практике и разрешено серийное производство и медицинское применение сконструированных учеными аппаратов для КВЧ-терапии.

Примерно четверть века тому назад в ИРЭ РАН были поставлены фундаментальные исследования по изучению физических полей человека. Инициатором этих исследований был академик Ю.В.Гуляев, который привлек в качестве соруководителя исследований профессора Э.Э.Годика. Итогом этих работ явилось получение уникальной научной информации о различных электромагнитных полях человека в радио- и ИК-диапазонах. Была получена важная информация о динамике полей при воздействии на человека различных слабых внешних факторов в разных физиологических состояниях [24]. Хотя в ходе всех этих исследований было убеждение, что кора ГМЧ также излучает электромагнитные волны в УВЧ-/СВЧ-/КВЧ-диапазонах, зарегистрировать их не смогли, м.б. из-за отсутствия в то время высокочувствительного измерительного оборудования.

## **2. Эксперименты**

### **2.1. Постановка задачи**

В 2014 году профессор неврологии А.С.Брюховецкий предложил принципиально новую информационно-коммутационную теорию (ИКТ) устройства ГМЧ, основанную на обширной военно-медицинской клинической практике лечения военнослужащих с боевыми травмами мозга, 25-летнем опыте более 15000 трансплантаций стволовых клеток и 52 операций по тканевой инженерии при органическом поражении головного и спинного мозга человека. В ИКТ ГМЧ он утверждает, что информационные интеллектуально-

мнестические и мыслительные процессы связаны не с электромагнитными процессами на коре головного мозга, а с взаимодействием ЭМИ в области ликворных путей головного мозга между мягкой, паутинной мозговой и твердой мозговыми оболочками, покрывающей кости черепа человека. Теория ИКТ ГМЧ была опубликована в целом ряде рецензируемых отечественных и зарубежных научных публикаций и монографий [25,26,27,28].

Для подтверждения своей теории профессор Брюховецкий обратился к группе радиоинженеров, возглавляемой Л.И.Брусиловским, имеющей многолетний опыт разработок и производства микроволнового оборудования. Была согласована программа-методика проведения неинвазивных исследований ЭМИ ГМЧ. Ее принципиальная особенность заключалась только в приеме излучения, а не воздействия каким-либо излучением на мозг.

При выборе средств и методов регистрации собственных микроволновых излучений мозга было решено использовать в качестве основного измерительного прибора анализатор спектра – прибор, который сразу оцифровывает электромагнитный сигнал во временной области, использует методы цифровой обработки сигнала, выполняет быстрые преобразования Фурье и показывает сигнал в частотной области в виде амплитудно-частотных характеристик сигнала (АЧХ).

Важнейшим условием успеха регистрации собственных микроволновых излучений мозга был компромисс в настройке анализатора спектра между быстродействием сканирования всей исследуемой полосы частот и чувствительностью измерений. Предполагалось проводить измерения в 2 этапа: сначала, чтобы повысить быстродействие и успеть зафиксировать полезные сигналы, с относительно большим шагом (полосой пропускания), а затем, для увеличения чувствительности, с малой полосой пропускания прибора, но в окрестностях обнаруженного на первом этапе полезного сигнала. Еще одной важной компонентой стало использование специальной измерительной антенны с высоким коэффициентом усиления, низким коэффициентом шума и снабженной эффективным блоком малошумящего усиления (МШУ).

Для защиты от посторонний шумов и помех было решено проводить исследования в защищенном от внешних электромагнитных излучений помещении – безэховой экранированной камере (БЭК) высшего класса защиты. Схема организации базового эксперимента представлена на рисунке 2-1.

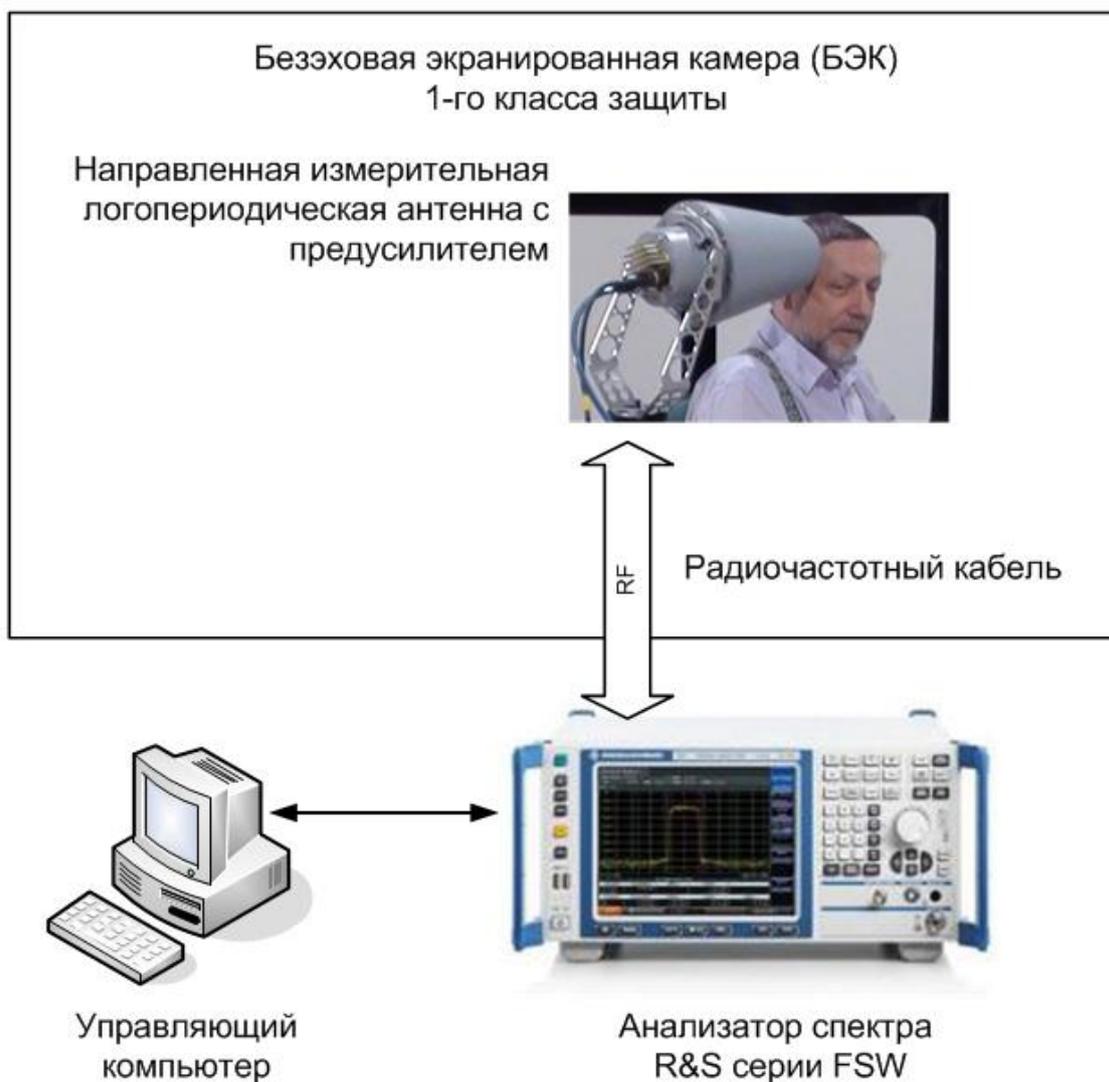


Рис. 2-1. Схема организации базового эксперимента.

## 2.2. Экспериментальные исследования 2016-19 гг.

В течение 2016-19 гг. был проведен ряд экспериментов, представленных в Таблице 1. Большие усилия были связаны с определением существенных параметров для средств измерения и БЭК. Единственный конструктивный подход заключался в практических опытах, несмотря на их дороговизну, т.к., например, требования к защите БЭК оказались на порядок выше существующих стандартов. Ниже описаны наиболее значимые исследования.

Таблица.1. Список экспериментальных исследований

Дата	Место	Оснащение	Цель	Результат
06.05.2016	ФБУ Ростест-Москва (1)	Полубезэховая БЭК SAC-3. Анализатор спектра R&S®FSV40. Направленная логопериодическая антенна со встроенным МШУ R&S®HL050S7	Обнаружить собственные излучения ГМ человека в максимально возможном аппаратно-диапазоне частот UHF/SHF.	Выполнено сканирование АЧХ ГМ человека в широком диапазоне частот от 850 МГц до 26,5 ГГц. Обнаружено заметное (до 20 dB <sub>i</sub> ) и отличное от фонового ЭМИ, снятое с различных отделов головы человека в диапазоне 2,0..4,5 ГГц
20.05.2016	ФГУП ВНИИФТРИ	БЭК Comtest SR214145. Анализатор спектра Agilent Technologies N9030A. Антенна измерительная рупорная П6-59	Подтвердить эксперимент 06.05.2016 с учетом замечаний экспертов-радиоинженеров	БЭК не удалось защитит от существенных внешних помех в исследуемом диапазоне, что сделало исследование излучения бессмысленным
24.11.2016	ФГУП Центр эксплуатации объектов наземной космической инфраструктуры (ЦЭНКИ)	БЭК 1-го класса защиты. Анализатор спектра R&S®FSW50. Направленная логопериодическая антенна со встроенным МШУ R&S®HL050S7	Подтвердить эксперимент 06.05.2016 с учетом замечаний экспертов-радиоинженеров	Подтвержден внутренний источник ЭМИ ГМ человека в диапазоне частот от 1,5 до 4,5 ГГц. Попытка оценки мощности полезных сигналов ЭМИ ГМ человека.
24.08.2017	Научно-производственный центр радиоинформационной метрологии и МАИ (НПЦ РИМ МАИ)	БЭК ЦНИРТИ им.Берга. Измерительный приемник R&S®ESW44 с функциями спектроанализатора. Рупорная антенна Satimo SH-800. Направленная логопериодическая	Исследование тех. Характеристик ЭМИ ГМ человека с диапазоне 1,5 до 4,5 ГГц. Подбор инструментальных средств измерения: БЭК –	В БЭК зафиксировано большое количество паразитных излучений, что существенно снизило исследовательский эффект. Удалось зафиксировать полезные сигналы, связанные с ЭМИ ГМ человека в височной области ( $f_1=3199,88$

		я антенна R&S®HL050. Внешний МШУ собственной разработки (2..4 ГГц Кус 30 дБ, Кш=2,5 дБ)	приемник – антенна – МШУ.	МГц, f2=3100 МГц).
13.11. 2017	АО «НПП «Исток» им. Шокина (Фрязино)	БЭК 1-го класса защиты. Анализатор спектра Keysight. Направленная логопериодическая антенна R&S®HL050. Внешний МШУ собственной разработки (2..4 ГГц Кус 30 дБ, Кш=2,5 дБ)	Исследование тех. характеристик ЭМИ ГМ человека с диапазоне 1,5 до 4,5 ГГц. Подбор инструментальных средств измерения: БЭК – приемник – антенна – МШУ.	БЭК не удалось защитить от существенных внешних помех в исследуемом диапазоне, что сделало исследование излучения бессмысленным
02.08. 2018	ФБУ Ростест-Москва (2)	Полубеззеховая БЭК SAC-3. Анализатор спектра R&S®FSW26. Направленная логопериодическая антенна R&S®HL050. Внешний МШУ AC010180-021 (1-18 ГГц, Ку = 25 дБ, Кш = 4 дБ).	Исследование тех. характеристик ЭМИ ГМ человека с диапазоне 1,5 до 4,5 ГГц. Подбор инструментальных средств измерения: БЭК – приемник – антенна – МШУ.	Соотношение Кус/Кш МШУ MM 0118.SFSF не обеспечило требуемых параметров для регистрации ЭМИ ГМ человека.
01.03. 2019	ФБУ Ростест-Москва (3)	Полубеззеховая БЭК SAC-3. Анализатор спектра R&S®FSW26. Направленная логопериодическая антенна R&S®HL050. Внешний МШУ собственной	Исследование тех. характеристик ЭМИ ГМ человека с диапазоне 1,5 до 4,5 ГГц. Подбор инструментальных средств измерения:	Подтверждена регистрация полезных сигналов ЭМИ ГМ человека определенными инструментальными средствами: БЭК – приемник – антенна – МШУ. Проведены когнитивные исследования ЭМИ

		разработки (2..4 ГГц Кус 30 дБ, Кш=2,5 дБ).	БЭК – приемник – антенна – МШУ.	зрительной области ГМ человека при свете и в темноте и обнаружено существенное увеличение числа полезных сигналов в темноте.
--	--	---	---------------------------------	--

### 2.2.1. ФБУ Ростест-Москва 06.05.2016

Эксперимент проводился в лаборатории Электромагнитных сигналов ФБУ «Ростест-Москва» (<http://www.rostest.ru/>). Лаборатория оснащена БЭК 1-го класса защиты по ГОСТ Р 50414-92 с коэффициентом экранирования до 120 дБ и эффективным диапазоном частот от 10 кГц до 40 ГГц.

Контрольно-измерительная аппаратура (КИА) состояла из анализатора сигналов серии **R&S®FSV** производства компании Rohde&Schwarz (Германия), который на то время был самым быстродействующем анализатором в режиме реального времени для рабочего диапазона частот от 10 Гц до 40 ГГц, отличался высокой чувствительностью, имел встроенный предусилитель. Была использована направленная логопериодическая антенна R&S®HL050S7 для диапазона частот от 850 МГц до 26,5 ГГц с встроенным блоком малошумящего усилителя (МШУ) с суммарным коэффициентом усиления до 37 дБ. Аппаратные возможности позволяли регистрировать ЭМИ в диапазоне от 850 МГц до 26,5 ГГц (УВЧ/СВЧ-диапазон).

Эксперимент заключался в сканировании доступными измерительными средствами АЧХ ЭМИ в максимально широком диапазоне частот. Сначала сканировался фон в месте эксперимента, фиксированного положением антенны на штативе, а затем неинвазивно различных областей скальпа человека: левых и правых лобной, височной, теменной, затылочной долей. Были предприняты меры защиты от посторонних помех: все личные электронные гаджеты участников исследований – мобильные телефоны, электронные часы и т.п. при сканировании были удалены за пределы БЭК.

В результате измерения АЧХ ЭМИ в различных областях головы испытуемого человека удалось обнаружить заметные (до 20 dB<sub>i</sub>) и отличные от фоновых электромагнитные сигналы в диапазоне 1,5..4,5 ГГц. Пример визуализации АЧХ показан на рисунках 2-2.

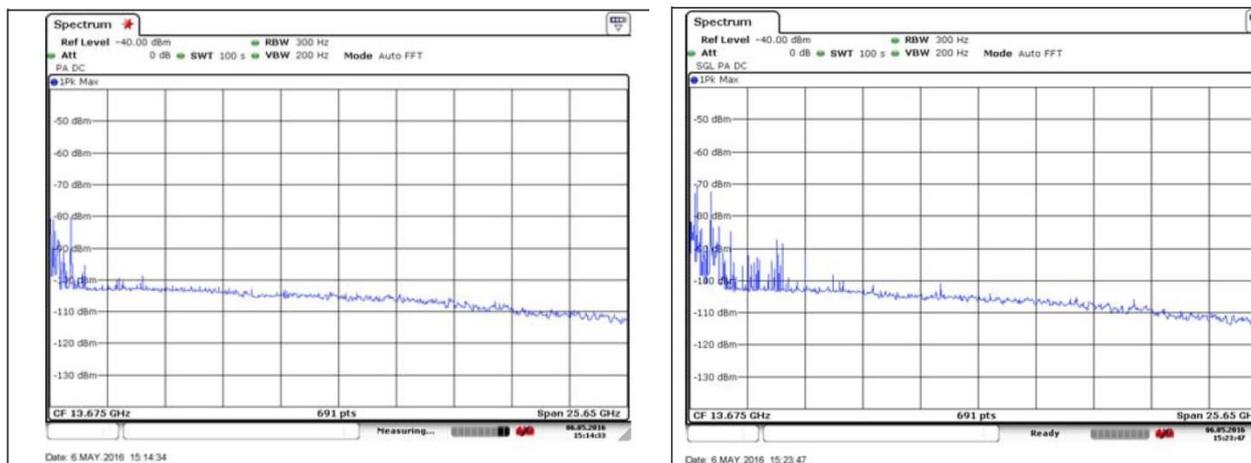


Рис.2-2. АЧХ фона (слева) и с правой височной области скальпа человека (справа). Обнаружены заметные излучения в диапазоне 1,5..4,5 ГГц.

Результаты эксперимента были обсуждены в профессиональном сообществе радиоинженеров Российской радиорелейной ассоциации АПОРРС. Был получен ряд замечаний и предложений авторам доказать именно внутренний, а не наведенный характер зарегистрированных ЭМИ.

### 2.2.2. ФГУП ЦЭНКИ 24.11.2016

Подтверждением полученных результатов с учетом замечания экспертов-радиоинженеров стал эксперимент, проведенный во ФГУП Центр эксплуатации объектов наземной космической инфраструктуры (ЦЭНКИ) (<http://www.russian.space/>) в БЭК с эффективным диапазоном частот от 9 кГц до 18 ГГц и с коэффициентом экранирования от 80 до 120 дБ.

В качестве анализатора спектра был использован прибор серии R&S®FSW производства компании Rohde&Schwarz (Германия). Он обеспечивал превосходство по чувствительности над другими анализаторами высшего класса более чем на 10 дБ и позволял надежно обнаруживать сверхкороткие спорадические сигналы в наносекундном диапазоне в полосе частот до 800 МГц

Для регистрации ЭМИ, как и в первом эксперименте, была использована направленная логопериодическая антенна R&S®HL050S7 для диапазона частот 850 МГц - 26,5 ГГц со встроенным блоком МШУ с суммарным коэффициентом усиления до 37 дБ. В эксперименте в ЦЭНКИ все исследования проводились в диапазоне от 1,5 до 4,5 ГГц (УВЧ/СВЧ-диапазон).

АЧХ фона снималась несколько раз в месте эксперимента, фиксированного положением антенны на штативе. Шумовой фон был практически идентичным. Для наглядности на диаграммах он был подкрашен желтым цветом, а полезный сигнал – синим. Сканирование проводилось с шагом 300 Гц (настройка фильтра RBW - мгновенной ширины полосы анализа).

Учет замечаний экспертов-радиоинженеров заключался в следующем.

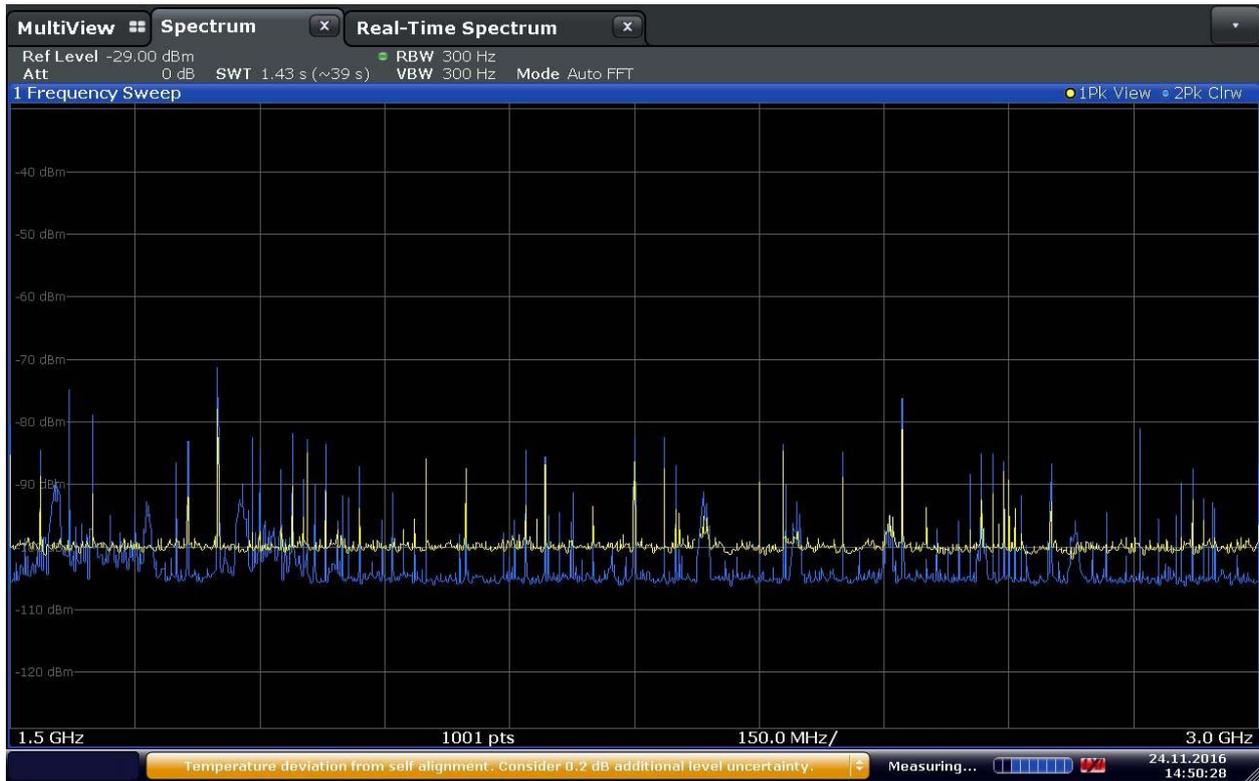
Было проверено, что влияние собственного излучения приборов были незначительны и учтены в АЧХ общего шумового фона в камере. Для проверки влияния собственного излучения измерительной аппаратуры были сняты АЧХ от установленного железного экрана. Уровень шума с экраном соответствовал уровню фона.

Снятие АЧХ от эталонного источника сигнала показал, что максимальная амплитуда снимается в точке непосредственного контакта с кожухом антенны. Этому соответствует и диаграмма направленности антенны [29].

Были сняты АЧХ от емкости с водой, от различных участков тела. Характер АЧХ показал совершенно другие, менее активные и с меньшими амплитудами сигналы по сравнению с сигналами от различных отделов ГМ человека.

АЧХ от различных отделов ГМ человека (правая и левая лобные, височные, затылочные, теменные, мозжечок) показал ярко выраженную мозговую электромагнитную активность, специфическую для каждого из них. Ниже для иллюстрации приведены графики АЧХ правой (рис 2-3, укрупненно 2-3б) лобной области. Фоновые измерения выделены желтым цветом, излучения мозга – синим. Мощность сигналов можно оценить уровнем в -

130дБм...-100дБм ( $1e^{-15}$ .. $1e^{-13}$  Вт). В то же время уровень полезного сигнала существенно превышает уровень шума.



14:50:29 24.11.2016 Frequency response of the right frontal region. Interval from 1.5 to 3 GHz, step 300 Hz. Experimenter 2

Рис.2-3. Пример АЧХ правой лобной области. Интервал от 1,5 до 3 ГГц, шаг 300 Гц.

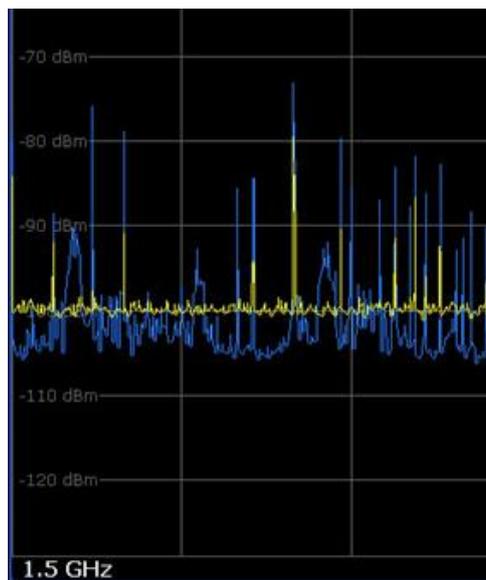


Рис.2-3б. Пример АЧХ правой лобной области. Укрупненный интервал от 1,5 до 1,95 ГГц, шаг 30 Гц. Фоновые измерения выделены желтым цветом, излучения мозга – синим. Очевидны дополнительные излучения.

Таким образом, в эксперименте в ЦЭНКИ была подтверждена регистрация мозговой электромагнитной активности в УВЧ/СВЧ-диапазонах при неинвазивных исследованиях ГМ человека, уточнен диапазон частот и амплитуда сигнала.

Управление измерительным оборудованием осуществляли ведущие сотрудники московского представительства компании Rohde&Schwarz. Ход и результаты исследований были подтверждены присутствующими экспертами.

Способ регистрации микроволновой электромагнитной активности мозга человека был запатентован [30].

### **2.2.3. ФБУ Ростест-Москва 01.03.2019**

Эксперимент был вновь проведен в БЭК лаборатории Электромагнитных сигналов ФБУ «Ростест-Москва». В качестве анализатора спектра, как и в эксперименте в ЦЭНКИ, был использован прибор серии R&S®FSW.

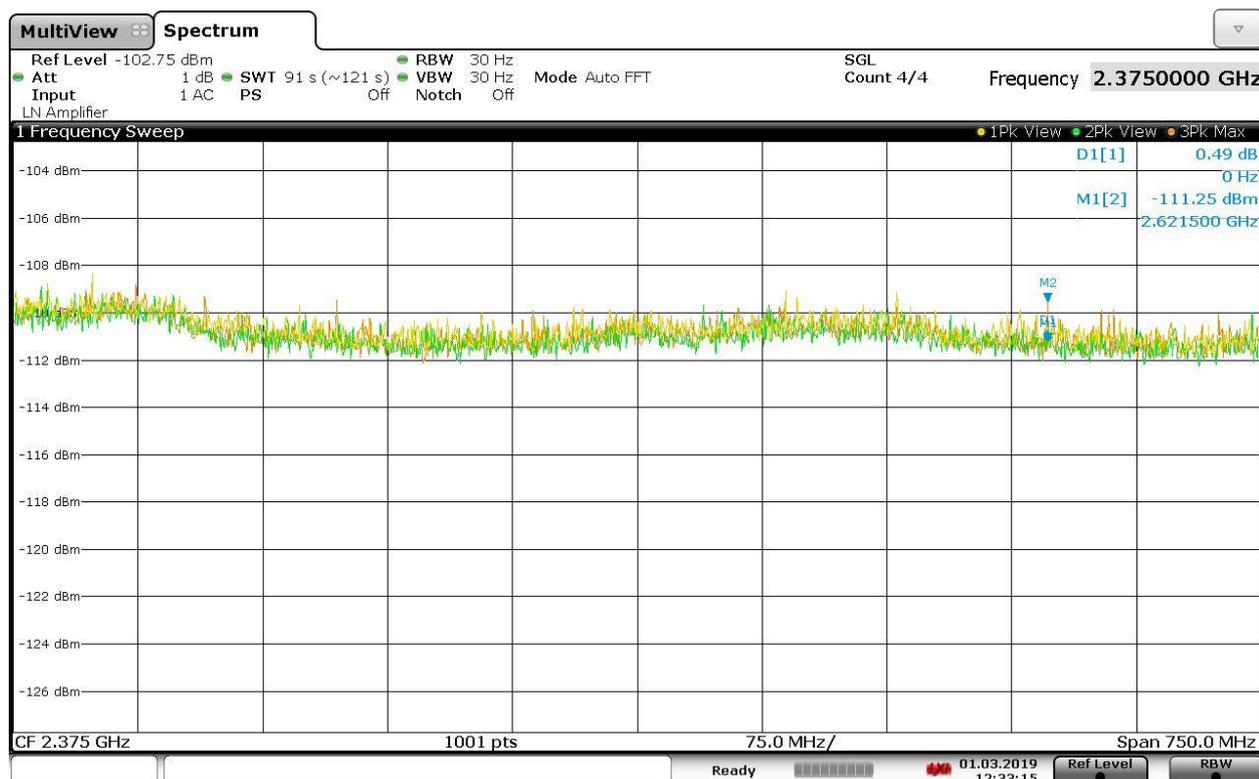
В эксперименте возникли технические проблемы, связанные с подбором измерительной антенны. Нам была доступна только направленная логопериодическая антенна R&S®HL050 без встроенного блока МШУ. После ряда экспериментов мы остановились на использовании с антенной внешнего блока МШУ 1-1М собственной разработки с  $K_{yc}=30$  дБ, но с ограниченным диапазоном от 2 до 4 ГГц. Суммарный коэффициент усиления такой антенной системы составил 38 дБ.

При исследованиях были предприняты меры защиты от посторонних помех. В рабочем помещении БЭК находился только 1 исследуемый человек, все его личные электронные гаджеты: мобильные телефоны, электронные часы и т.п. были удалены за пределы БЭК. Измерительный приемник был размещен в приборном отсеке вне защищенного рабочего помещения, чтобы исключить влияние собственных эфирных излучений. Встроенный радиочастотный кабель длиной 10м для подключения измерительной антенны проходил через специальный защищенный кабельный канал.

Для оптимизации работы анализатора R&S®FSW в режиме реального времени исследуемая полоса частот была сужена до 750 МГц с 2,0 до 2,75 ГГц

со следующими настройками:

- полоса RBW = 30 Гц,
- полоса VBW = 30 Гц,
- время обзора 91 с,
- включенный предусилитель,
- режим FFT –автоматический.



12:33:16 01.03.2019

Рис 2-4. АЧХ фона (желтый) правой затылочной области (зеленый) и правой височной области (рыжий) головы. Выявлен полезный сигнал на частоте 2.6215 ГГц при включенном свете и активной стимуляции зрения, отсутствующий при 10-кратном сканировании фона.

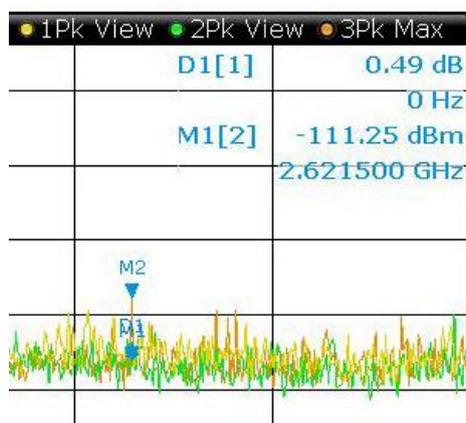
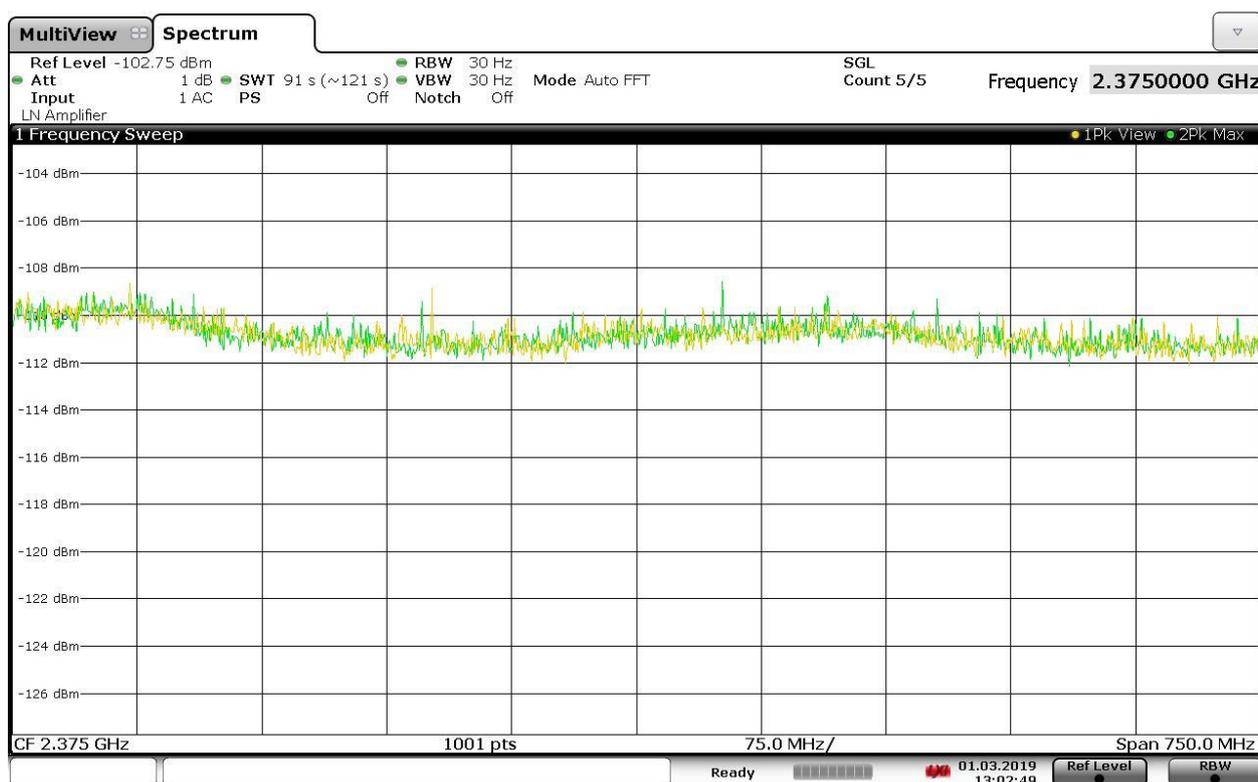


Рис 2-4б. Укрупненный фрагмент АЧХ правой височной области головы (зеленый) с полезным сигналом на частоте 2.6215 ГГц.

Т.к. полезные сигналы могли быть результатом случайных помех, мы приняли решение проводить многократные суммирующие сканирования фона и области головы сериями. Первая же серия с 10-кратным сканированием фона с накоплением и 5-кратным сканированием правой теменной области головы с накоплением, обнаружил несколько полезных сигналов, в частности на частоте 2.6215 ГГц, отсутствующих при 10-кратном сканировании фона (рисунок 2-4, укрупненно – 2-4б). Эксперимент был повторен в присутствии экспертов с тем же результатом. Во время эксперимента исследуемый всячески стимулировал ввод зрительной информации, активно переводя взгляд на различные структуры обшивки внутренней поверхности камеры и на яркий источник света.



13:02:50 01.03.2019

Рис 2-5. АЧХ фона (желтый) и правой затылочной области головы (зеленый) в зрительной зоне коры головного мозга при выключенном свете. Множество полезных сигналов.

Нужно обратить внимание на эксперимент при темноте в БЭК (сомато-сенсорном отключении зрительной рецепции). При аналогичных условиях

проведения эксперимента на суммарном АЧХ был зарегистрировано значительно больше полезных сигналов, чем при свете в БЭК (рисунок 2-5, укрупненно 2-5б).

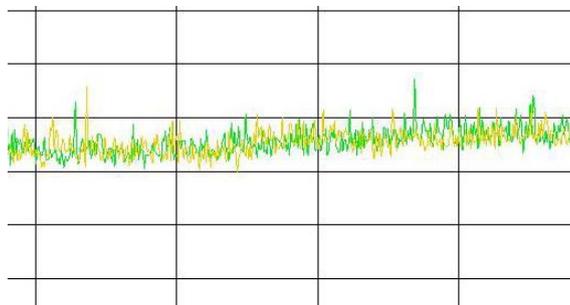


Рис 2-5б. Укрупненный фрагмент АЧХ.

### 3. Статистический анализ экспериментальных данных

В этой главе описан поиск корреляции экспериментальных данных, их переходных точек. Использовались два метода. Во-первых, точный метод дискретной оптимизации Pelt. Во-вторых, аппроксимационный метод дискретной оптимизации TwoWins. Исследовано применение нескольких стоимостных функций.

#### 3.1. Используемые методы

Рассмотрим  $d$ -мерный нестационарный случайный процесс  $y = \{y_1; \dots; y_T\}$ , который имеет  $T$  отсчетов ( $d$ -мерные точки). Предполагается, что сигнал  $y$  кусочно-стационарный, что означает, что некоторые характеристики процесса значительно изменяются в некоторые неизвестные значения индексов  $t_1 < t_2 \dots < t_n \dots < t_K$ . Таким образом, задача заключается в обнаружении этих индексов изменения  $t_n$ . В зависимости от контекста задачи, количество изменений  $K$  может быть или не быть известно. В нашем случае будем считать, что  $K$  неизвестно и должно быть оценено.

Задачу обнаружения индексов изменения можно рассматривать как проблему выбора модели, которая содержит лучшую по некоторому критерию сегментацию  $S$ . При этом некоторый критерий  $F(S; y)$  должен быть минимизирован.

Будем считать, что критерий  $F(S; y)$  для определенной сегментации представляет собой сумму стоимостей всех сегментов, которые определяют сегментацию. При этом стоимостная функция  $C(.)$  определяет меру соответствия данного сегмента определенному условию.

Таким образом, стоит задача оптимизации по следующему критерию:

$$\min_S [F(S; y) + \text{pen}(S)], \quad (1)$$

где  $\text{pen}(S)$  - штрафная функция определяет меру сложности сегментации  $S$ .

В данной работе использовались два метода решения

(1). Алгоритм Pelt (Pruned Exact Linear Time) [31] находит точное решение задачи (1) при линейной штрафной функции, т.е.

$$\min_S [F(S; y) + a/S], \quad (2)$$

(2) Метод Win вычисляет расхождения стоимостных функций двух смежных окон, которые скользят по сигналу  $y$  [32].

Исследовано применение нескольких стоимостных функций.

- L1
- L2
- Средняя по ядру [33].
- Линейная – [34].
- Авторегрессии – [35].

Стоимостная функция L1 показала лучшие результаты.

### 3.2. Результаты

#### 3.2.1 Выделение пиковых (амплитуда $> 1$ ) значений сигналов

Обозначим результаты 1-го эксперимента при свете как Свет1. Результаты 2-го эксперимента при свете обозначим как Свет2. Эксперимент в темноте обозначим как Темнота.

В эксперименте Свет1 выявлено 6 пиков. Они показаны на рисунке 3-1. В эксперименте Свет2 выявлено 16 пиков. Они показаны на рисунке 3-2. При проведении эксперимента Темнота выявлено 43 пика. Они показаны на рисунке 3-3. Анализируя эти результаты можно заметить, что, во-первых, в темноте наблюдается значительно больше пиков, чем при свете и, во-вторых, при свете

наблюдаются несколько зон корреляции пиков между двумя экспериментами Свет1 и Свет2 ([20-60], [330-360], [550-615]).

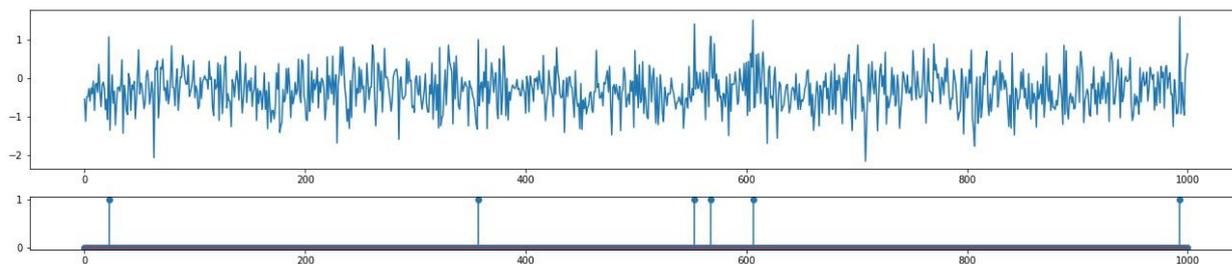


Рис.3-1. Пиковые (амплитуда  $> 1$ ) значения сигнала в эксперименте Свет1.

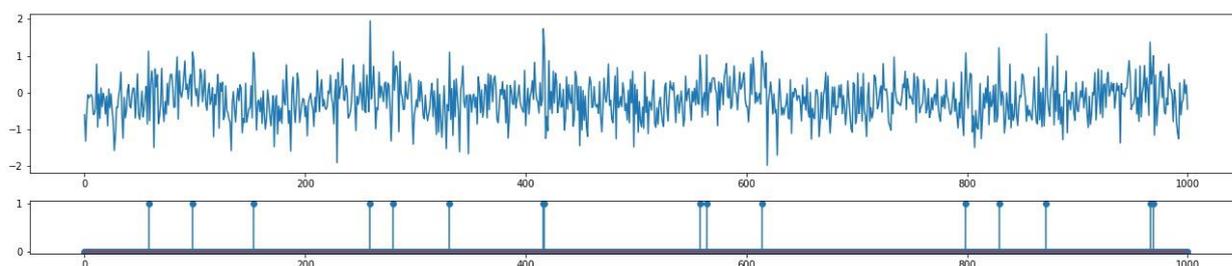


Рис.3-2. Пиковые (амплитуда  $> 1$ ) значения сигнала в эксперименте Свет2.

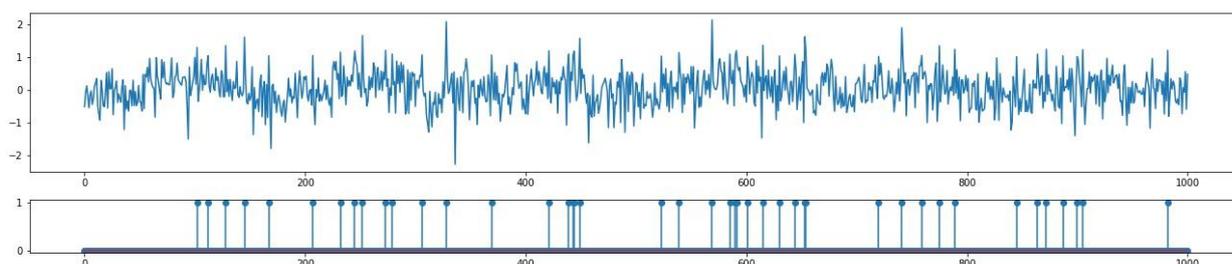


Рис.3-3. Пиковые (амплитуда  $> 1$ ) значения сигнала в эксперименте Темнота.

### 3.2.2. Метод Pelt

На рисунке 3-4 показан результат работы метода Pelt для двумерного сигнала Свет1-Свет2. Верхние два графика демонстрируют анализируемые сигналы. Нижний график показывает найденные точки переходов.

Рисунок 3-5 демонстрирует результат работы метода Pelt для двумерного сигнала Свет1-Темнота.

Рисунок 3-6 показывает результаты для двумерного сигнала Свет2-Темнота.

Анализ рисунков 3-4..3-6 позволяет сделать следующий вывод. Для сигналов Свет1-Темнота и Свет2-Темнота расположение точек перехода

является похожим друг на друга в большей степени, чем для сигнала Свет1-Свет2. Статистическая значимость этого утверждения была подтверждена с помощью правостороннего F-теста ( $p\text{-value} \leq 0.05$ ).

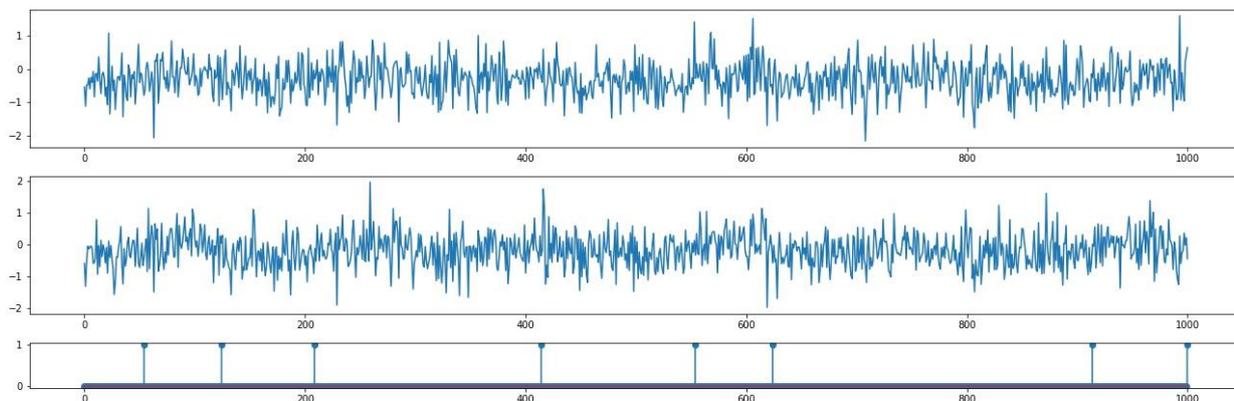


Рис.3-4. Результат работы метода Pelt для двумерного сигнала Свет1-Свет2.

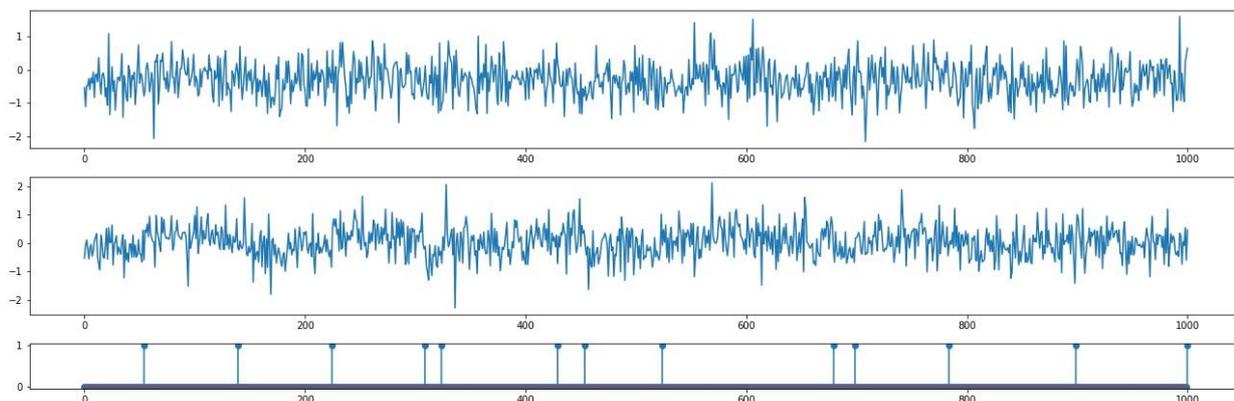


Рис.3-5. Результат работы метода Pelt для двумерного сигнала Свет1-Темнота.

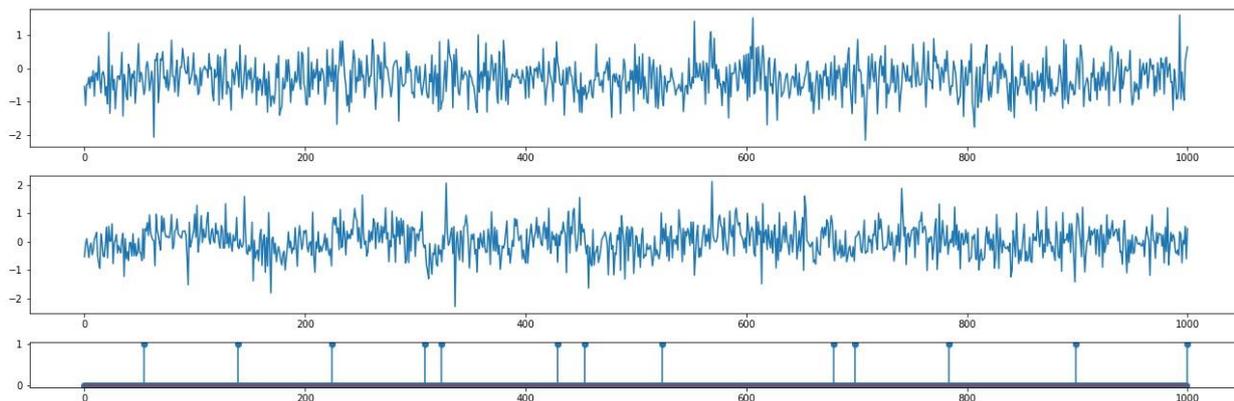


Рис.3-6. Результат работы метода Pelt для двумерного сигнала Свет2-Темнота.

### 3.2.3. Метод TwoWins

На рисунке 3-7 показан результат работы метода TwoWins для двумерного сигнала Свет1-Свет2. Верхние два графика демонстрируют

анализируемые сигналы. Нижний график показывает найденные точки переходов.

Рисунок 3-8 демонстрирует результат работы метода TwoWins для двумерного сигнала Свет1-Темнота. Рисунок 3-9 показывает результаты для двумерного сигнала Свет2-Темнота.

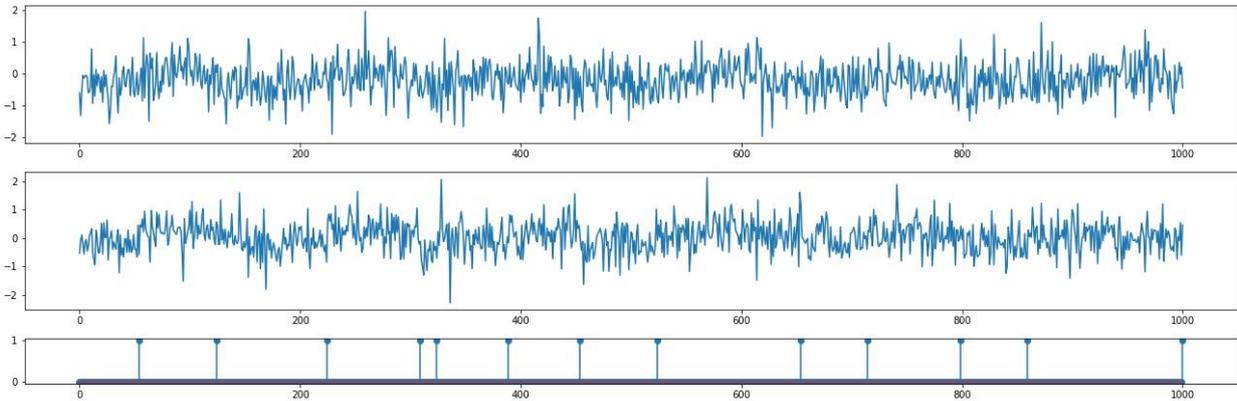


Рис.3-7. Результат работы метода TwoWins для двумерного сигнала Свет1-Свет2.

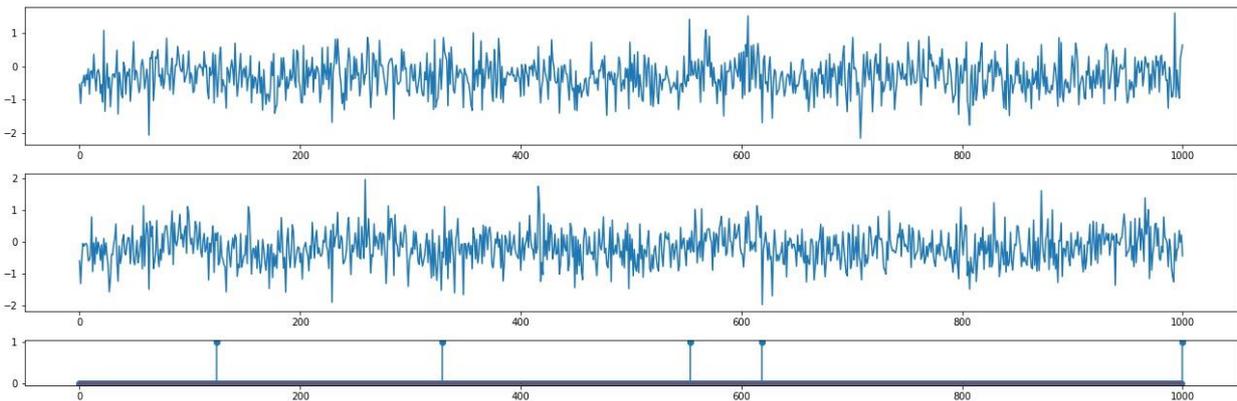


Рис.3-8. Результат работы метода TwoWins для двумерного сигнала Свет1-Темнота.

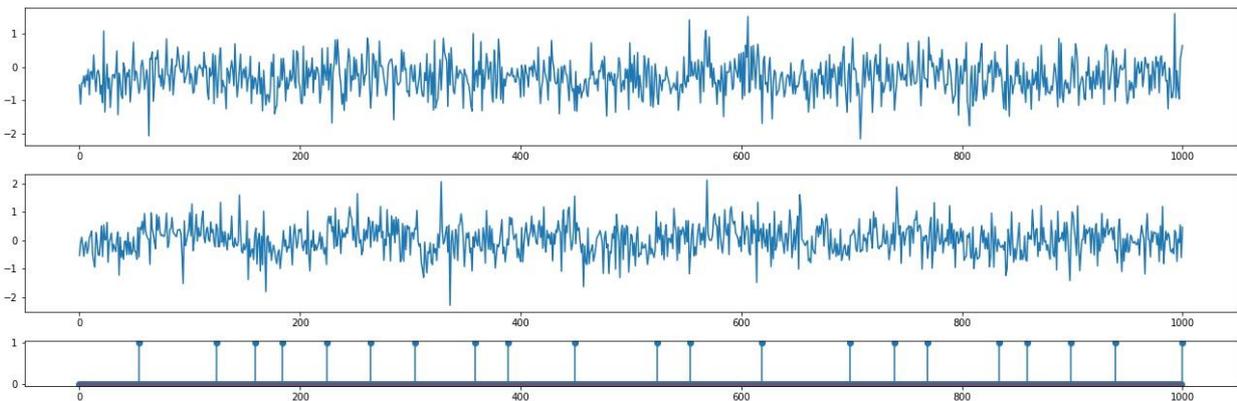


Рис.3-9. Результат работы метода TwoWins для двумерного сигнала Свет2-Темнота.

Анализ рисунков 3-7..3-9 позволяет сделать следующий вывод. Для сигналов Свет1-Темнота и Свет2-Темнота расположение точек перехода является похожим друг на друга в большей степени, чем для сигнала Свет1-Свет2. Статистическая значимость этого утверждения была подтверждена с помощью правостороннего F-теста ( $p\text{-value} \leq 0.05$ ).

### 3.3. Выводы

1. Обнаружено несколько взаимосвязей между сигналами. Данные взаимосвязи соответствует логике экспериментов. Для повышения корректности выводов необходимо получить дополнительные экспериментальные данные.

2. После получения дополнительных данных, в дополнение к использованию статистических методов анализа, можно рассмотреть возможность применения методов анализа, которые основаны на оценке формы сигналов.

3. Статистический анализ вышеуказанными методами зарегистрированных сигналов и соответствующих фонов не обнаружил связь между ними (точек перехода).

Полученные результаты были представлены и обсуждены на ряде конференций:

- Международная конференция SPCN-2017 «Обработка сигналов изображения и звука в контексте нейротехнологий» [36];
- Конференция с международным участием ЭМИ-2017 «Физика и экология электромагнитных излучений» [37];
- VIII Международный конгресс "Слабые и сверхслабые поля и излучения в биологии и медицине" [38];
- Международный военно-технический форум «АРМИЯ-2019» [39];
- VI Съезд биофизиков России [40];
- V Международная конференция «Нейрокомпьютерный интерфейс. Наука и практика»;

- Международная научная конференция теоретических и прикладных разработок «Научные разработки - евразийский регион», 2019 [41].

Они вызвали большой интерес, в целом одобрение, и была отмечена их перспективность. При обсуждении с научным сообществом сформировалась экспертная группа заинтересованных ученых, в которую сейчас входит более 30 российских и зарубежных докторов наук в области медицины, нейрофизиологии, радиотехники и радиофизики. Им персонально направляются все отчеты о новых исследованиях, учитываются их рекомендации для программ-методик новых экспериментов. Одним из следующих шагов, предложенных экспертной группой, стало включение в следующий эксперимент когнитивных исследований.

#### **4. Следующий шаг**

Наши исследования с использованием анализатора спектра последнего поколения с высоким быстродействием и чувствительностью позволили зарегистрировать отличные от фона сигналы. Возможные внешние и внутренние сигналы-помехи гасились качественной безэховой экранированной камерой. При измерениях мы обратили внимание на то, что регистрируемые сигналы (если они наблюдались) носят не единичный характер, а множественный, причем, возможно, ряд амплитуд находились под уровнем шумов, и мы их просто не видели. Фактически мы видели сигналы только за то время, которое спектроанализатор мог уделить этой частотной точке при сканировании. При таком методе трудно отслеживать динамику во времени и соответственно, проводить качественный анализ на связь между сигналами и возмущающими действиями с объектом измерений. По результатам исследований нашей радиоинженерной группой принято решение разработать собственный высокочувствительный многоканальный микроволновой радиометр для регистрации непрерывного сигнала в реальном масштабе времени, который будет пропорционален энергии, поступающей на антенну в заданной полосе частот. При использовании, например, 16 антенн на голове с отдельными радиометрами и одновременном выводе всех этих сигналов

фактически мы будем получать изображения, очень похожие на ЭЭГ, только сигналы будут отражать не поверхностные токи от датчиков, а уровни энергии излучения. Такой способ регистрации мы назвали радиометрографией (РМГ). При разработке оборудования РМГ будет необходимо разработать блок многоканальных антенн-аппликаторов с совмещенными СВЧ-приемниками (не менее 16 шт.), блок оцифровки сигналов и обеспечение всего этого "тихим" питанием, программное обеспечение для блока обработки, блок сопряжения с компьютером; если предполагаются измерения в камере, тогда еще между блоком оцифровки и блоком сопряжения – систему передачи данных по коаксиальному кабелю, чтобы вывести данные наружу камеры, программу визуализации на компьютере. Команда обладает необходимым опытом разработки подобного оборудования и для реализации проекта нуждается только в инвестициях.

### **Благодарности**

Команда проекта выражает искреннюю благодарность за помощь в организации и проведении экспериментальных исследований Генеральному директору ЗАО «РАДИАН» г-ну Альбертасу Гумбинасу, Генеральному директору компании «АРКУС» г-ну Игорю Абашину, советнику по развитию АО «АЛМАЗ-СП» г-ну Дмитрию Халилю и генеральному директору ООО «УК ВЭК» г-же Емилии Чайкиной, руководителю направления "Анализаторы Спектра" московского отделения ООО РОДЕ И ШВАРЦ РУС г-ну Кириллу Румянцеву, сотруднику технической поддержки Александру Агурееву и менеджеру по продажам Владимиру Задерейко, начальнику научно-исследовательского отдела Антенно-фидерных систем АО СКАРД-Электроникс г-ну Ивану Шору и менеджеру по продажам Максиму Черкашину, начальнику лаборатории Электромагнитной совместимости ФБУ РОСТЕСТ-МОСКВА г-ну Станиславу Чеботареву и инженеру-исследователю лаборатории Дмитрию Кузнецову, директору ООО "ТРИУМФ-ИНЖИНИРИНГ" г-ну Евгению Прадеду.

## Литература

1. Казаков Д. И., Путешествие в микромир с физиком теоретиком, Лекция 03.10.2018. URL <https://www.youtube.com/watch?v=A6V4JGiJd9Q>
2. Павлов И.П. Лекции о работе больших полушарий головного мозга. Издательство Академии Наук СССР, 1949.
3. Илларионов С.В. Теория познания и философия науки. - М.: "Российская политическая энциклопедия" (РОССПЭН), 2007. - 535 с., ил. - (Философы России XX века). - ISBN 5-8243-0766-0.
4. Теории памяти. Морфологические теории. [онлайн ресурс]. Опубликовано на сайте «Мир глазами медика». URL <http://blogmedika.ru/2008/11/16/morfologicheskie-teorii/>. 2008.
5. Pribram K.H. Languages of the brain; experimental paradoxes and principles in neuropsychology. Moscow, Progress Publ., 1975. 464 p.
6. Мозг и психические процессы [онлайн ресурс]. Опубликовано на сайте «Студенческая библиотека онлайн». URL [https://studbooks.net/1329112/psihologiya/mozg\\_i\\_psihicheskie\\_protsestry](https://studbooks.net/1329112/psihologiya/mozg_i_psihicheskie_protsestry)
7. Перминов А.В., Файзрахманова И.С., Прикладная голография, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Курс лекций, Пермь, 2017 г
8. Физиология с основами анатомии: Учебник / Под ред. Тюкавина А.И., Черешнева В. А., Яковлева В. Н. – Москва, НИЦ ИНФРА-М, 2016. - 574 с. ISBN 978-5-16-011002-8)
9. Talbot M.J.. The Holographic Universe, Sofia Publishing House, 2016, - 384 s
10. Nirenberg S. Research Interests [online]. URL <https://physiology.med.cornell.edu/faculty/nirenberg/lab/research.php>
11. Поворинский А.Г., Заболотных В.А. Пособие по клинической электроэнцефалографии. АН СССР, Ин-т физиологии им. И. П. Павлова, Л. : Наука : Ленинградское отделение, 1987. - 64 с. : ил.

12. Марютина Т.М., Ермолаев О.Ю., Введение в психофизиологию. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Московский психолого-социальный институт: Флинта, 2001. – 400 с.
13. Breier J.I. et al. Lateralization of cerebral activation in auditory verbal and non-verbal memory tasks using magnetoencephalography. *Brain Topography*. 1999. Vol. 12. P. 89–97.
14. Pang E.W. et al. Localization of auditory N1 in children using MEG: source modeling issues. *International Journal of Psychophysiology*. 2003. Vol. 51. P. 27–35.
15. Pascual-Marqui R.D., Michel C.M., Lehmann D. Low resolution electromagnetic tomography: a new method for localizing electrical activity in the brain. *International Journal of Psychophysiology*. 1994. Vol. 18. P. 49–65.
16. Pascual-Marqui R.D.. Standardized low-resolution brain electromagnetic tomography (sLORETA): technical details. *Methods Find. Exp. Clin. Pharmacol.* 2002. Vol. 24. P. 5–12.
17. Редозубов А.Д. Логика мышления [онлайн ресурс]. URL <https://habr.com/en/post/214109/>
18. Шульговский В.В. Основы нейрофизиологии, Учебное пособие, 2-е изд., М., КноРус, 2017. – 272 с.
19. Zemel R.S. Cortical Belief Networks. In: Computational Models for Neuroscience. Thomas McKenna, Roberthecht-Nielsen. Springer, 2003. P. 267-285
20. Musk E.R. Neuralink presentation [online] URL <https://www.youtube.com/watch?v=YKzCD2IEYUQ>. Accessed 17.07.2019
21. Девятков Н.Д., Голанд М.Б., Бецкий О.В. Миллиметровые волны и их роль в процессах жизнедеятельности. - М.: Радио и связь, 1991, 168 с.]; Миллиметровые волны в биологии и медицине. 1992, N 1. 1993, N 2.
22. Бецкий О. В. Миллиметровые волны в биологии и медицине // Радиотехника и электроника. 1993. Т. 38. № 10. С. 1760 - 1782.

23. Синицын П.П., Петросян В.П., Елкин В.А. и др. Особая роль системы "миллиметровые волны - водная среда" в природе. // Биомедицинская радиоэлектроника. 1998. №1. С. 5-23.
24. Годик Э.Э. Физические поля биологических объектов, "Кибернетика живого: Биология и информация", М.: Наука, 1984. стр. 111-116
25. Брюховецкий А.С. Проблемы теоретической неврологии. Информационно-коммутативное устройство и принципы работы мозга человека. М.:Изд. Полиграф-Плюс, 2014. -330 с: 44 ил.
26. Bryukhovetskiy A.S. Human Brain Theory . Information-Commutation Device of the Brain and Principles of its Work and Modeling.-2016.- Nova Science Publisher, NewYork.- 220 p
27. Bryukhovetskiy A.S. Information Communicative Organization of Brain and Its Functional Principles // IANR VII&1<sup>st</sup> SCSI with 11<sup>th</sup> GCNN & 2nd IFNR Conference, 27<sup>th</sup> Feb -1<sup>st</sup> March 2014. Mumbai. P.36.
28. Bryukhovetskiy A.S. Novel theory of the human brain: information-commutation basis of architecture and principles of operation// Journal of Neurorestoratology .- February 2015, Volume 3. P. 39-55. DOI <http://dx.doi.org/10.2147/JN.S75126>
29. R&S®AC090 SHF Directional Antenna System [online]. Сайт компании Rohde & Schwarz. URL [https://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl\\_downloads/dl\\_common\\_library/dl\\_brochures\\_and\\_datasheets/pdf\\_1/HL050S7\\_cat\\_2015\\_142-143.pdf](https://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_brochures_and_datasheets/pdf_1/HL050S7_cat_2015_142-143.pdf).
30. Патент 2708040 Российская Федерация, МПК А61В 5/05, G01R 23/00, G01R 33/02. Способ регистрации микроволновой электромагнитной активности головного мозга человека / авторы, заявители и патентообладатели Брюховецкий А.С., Брусиловский Л.И. - № 2017126117/14; заявл. 20.07.2017; опубл. 03.12.2019, Бюл. № 34.
31. Killick R., Fearnhead P., Eckley I.A. Optimal detection of changepoints with a linear computational cost. *Journal of the American Statistical Association*. 2012. No.107(500). P.1590-1598.

32. Karagiannaki K., Panousopoulou A., Tsakalides P. An online feature selection architecture for Human Activity Recognition. // In Proceedings of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP). 2017. P. 2522-2526.
33. Arlot S., Celisse A., Harchaoui Z. A Kernel Multiple Change-point Algorithm via Model Selection. arXiv preprint <https://arxiv.org/abs/1202.3878v3>, 1(0000):1–26. 2012.
34. Bai J., Perron P. Critical values for multiple structural change tests. *Econometrics Journal*. 2003. Vol.6. No.1. P.72–78.
35. Bai J. Vector autoregressive models with structural changes in regression coefficients and in variance–covariance matrices. *Annals of Economics and Finance*. 2000. No.1. P.303–339.
36. Брусиловский Л.И., Брюховецкий А.С., Разработка технологии микроволновой энцефалографии (MWEG) для диагностики нервных заболеваний и психических расстройств головного мозга человека, изучение активности человека в норме и организация нового типа нейрокомпьютерного интерфейса. // Международный симпозиум IEEE «Обработка видео и аудио сигналов в контексте нейротехнологий», SPCN-2017, Санкт-Петербург, 2017.
37. Брусиловский Л.И., Брюховецкий А.С., Исследования собственных микроволновых излучений головного мозга человека в когнитивных процессах. // I Всероссийская конференция с международным участием «Физика и экология электромагнитных излучений» 25-30 сентября 2017, п. Агой, Краснодарский край. [URL conf.biophys.ru/archive/agoi-2017.pdf#page=10](http://URL_conf.biophys.ru/archive/agoi-2017.pdf#page=10)
38. Брусиловский Л.И., Брюховецкий А.С., Исследования собственных микроволновых излучений головного мозга человека. // VIII Международный конгресс "Слабые и сверхслабые поля и излучения в биологии и медицине" Научные труды конгресса, Том. 8,

Издательство: ООО «ПЦ «Синтез», 2018 – 196 с. eLIBRARY ID: 35571420.

URL <https://elibrary.ru/item.asp?id=35609388>

39. Брусиловский Л.И., Брюховецкий А.С., Открытие микроволнового информационного канала для создания нейрокомпьютерного интерфейса нового типа. // Доклад на Международном военно-техническом форуме «АРМИЯ-2019», секция ВИТ ЭРА, 27 мая 2019.
40. Брусиловский Л.И., Брюховецкий А.С., Исследования микроволновых излучений головного мозга человека. // VI съезд биофизиков России. Сборник научных трудов. Сочи, 2019. Том 1. С.369-370.
41. Брюховецкий А.С., Брусиловский Л.И., Нейротехнология неинвазивной транскраниальной диагностики микроволновых электромагнитных излучений в межбололочном ликворном пространстве головы человека при рефлекторной и когнитивной деятельности головного мозга: от теории к эксперименту, научным фактам и их практической реализации. // Международная научная конференция теоретических и прикладных разработок «Научные разработки - евразийский регион». М., Издательство Инфинити, 2019. – 136 с. ISBN 978-5-905695-44-5.

**Для цитирования:**

Брусиловский Л.И., Брюховецкий А.С., Кожин С.П., Серафимович П.Г., Никоноров А.В. Экспериментальные исследования микроволновой электромагнитной активности головного мозга человека. Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2020. № 2. Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/feb20/2/text.pdf>. DOI 10.30898/1684-1719.2020.2.2