

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Радиофизический факультет

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ В ГЭК

Руководитель ООП

к.ф.-м.н., доцент



В.А. Мещеряков

«23» января 2023 г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ АНТЕННЫ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ
КРАЙНЕ НИЗКОЧАСТОТНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО
ФОНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

по основной образовательной программе подготовки специалиста
по специальности 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы»

Жердецких Михаил Сергеевич

Руководитель ВКР

Доцент кафедры КФиЭ к. ф.-м. н.

 А.А. Колмаков

«21» января 2023 г.

Автор работы
студент группы № 779

 М.С. Жердецких

Томск-2023

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ

АЦП	аналого-цифровой преобразователь
АЧХ	амплитудно-частотная характеристика
ГА	грозовая активность
ИНТ-1	индукционный магнитометр
КНЧ	крайне низкие частоты
ОА	относительная амплитуда
ПО	программное обеспечение
СНЧ	сверхнизкие частоты
ТТХ	тактико-технические характеристики
УН-1	измерительного устройства КНЧ ЭМ–фона (ТГУ, Томск).
ШР	шумановские резонансы
ЭМ	электромагнитный (фон)
ЭМП	электромагнитное поле
GSM	глобальная система мобильной связи
GPS	глобальная система позиционирования и времени (США)

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 37 с., 2 гл., 21 рисунок, 28 источников.

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ АНТЕННЫ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ КРАЙНЕ НИЗКОЧАСТОТНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ФОНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Объектом исследования является антенная техника, применяющаяся для электрических измерений электромагнитного КНЧ–фона окружающей среды.

Цель работы оценить пригодности сферической антенны для комплекса регистрации КНЧ ЭМ–фона УН-1 (ТГУ, Томск).

Предложена конструкция и способ изготовления лабораторного макета сферической антенны для КНЧ–измерений электрической компоненты ЭМ–фона; конструкция практически реализована в виде рабочего образца, антенна изготовлена разборной, в виде двух полусфер диаметром 226 мм; рассчитана ёмкость антенны, которую составил ~ 12.5 пФ.

Рабочий образец включён в пробную серию измерений совместно с усилителем УН-1 в составе измерительного вычислительного комплекса мониторинга физических полей окружающей среды кафедры космической физики и экологии РФФ ТГУ.

Проведен корреляционный и регрессионный анализ. Значения коэффициентов корреляции для двух произвольно выбранных моментов (03:36LT и 03:48LT) измерений составили 0.64 и 0.73. Для линейной регрессии коэффициент B с учетом коррекции данных в канале со сферической антенной, отвечающий за наклон линии регрессии равен 9.652 ± 0.407 и 11.529 ± 0.384 соответственно.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 Электромагнитный фон окружающей среды в диапазоне крайне низких частот.....	6
1.1 Источники электромагнитных излучений КНЧ–диапазона.....	6
1.2 Среда распространения КНЧ ЭМ–волн.....	7
1.3 Влияние ЭМП на окружающую среду.....	8
1.4 Измерения КНЧ ЭМ–фона окружающей среды.....	10
1.5 Измерение электрической компоненты.....	13
1.6 Обработка экспериментальных данных.....	17
2 Изготовление лабораторного образца сферической антенны.....	21
2.1 Подготовительный этап.....	21
2.2 Этапы изготовления макета сферической антенны.....	23
2.3 Измерение электромагнитного КНЧ–фона.....	28
2.4 Анализ экспериментальных данных.....	30
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	34
СПИСОК ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРА.....	35

ВВЕДЕНИЕ

Основным физическим механизмом, определяющим глобальное распределение электромагнитной (ЭМ) энергии [1, 2] в окружающей среде в диапазоне крайне низких частот (3–30 Гц) являются шумановские резонансы (ШР) [3–11]. Этот механизм впервые был теоретически предсказан В.О. Шуманом [3] в 1952 году, в силу чего и получил свое название. Позже М. Бальсер и Ч. Вагнер обнаружили это явление в окружающей среде экспериментально [4].

К настоящему времени достаточно глубоко исследованы регулярные вариации компонент ЭМ-фона и влияние на них гелиогеофизических факторов [5–11]. По современным представлениям шумановские резонансы – явление интерференции волн, длина которых соизмерима с геометрическими размерами Земли, вызванное излучением в основном от источников глобальной грозовой активности (ГА) [11–21].

Средой распространения таких излучений является полость между Землей и ионосферой [22], включающая подповерхностные земные слои, всю толщу нейтральной атмосферы и нижнюю ионосферу Земли. Электромагнитные излучения от грозовых разрядов несут важную информацию, как о свойствах самого разряда, так и состоянии среды распространения электромагнитной энергии.

Целью данной работы оценка пригодности сферической антенны в работе комплекса регистрации КНЧ ЭМ-фона УН-1 (ТГУ, Томск).

Для достижения поставленной цели необходимо решить ряд взаимосвязанных задач:

1. Создать рабочий образец сферической антенны для КНЧ измерений электрической компоненты ЭМ-фона;
2. Экспериментально определить технические характеристики, созданной антенны;
3. Провести натурный эксперимент;
4. Проанализировать полученные результаты.

1 Электромагнитный фон окружающей среды в диапазоне крайне низких частот

1.1 Источники электромагнитных излучений КНЧ–диапазона

Мониторинг электромагнитного фона [5] в диапазоне крайне низких частот (КНЧ) (3 – 30 Гц) в окружающей среде используется для решения разнообразных задач геофизики [11, 12], биофизики [23] и электромагнитной экологии [20]. Источники электромагнитного фона КНЧ–диапазона можно разделить на: природные и антропогенные.

К источникам антропогенного происхождения относятся: транспорт, связь, энергетика, разнообразные промышленные производства, бытовые технические устройства и т.п. К антропогенным источникам электромагнитных излучений крайне низких частот (КНЧ) (3 ÷ 30 Гц) и сверхнизких частот (СНЧ) (30 ÷ 300 Гц), прежде всего, относятся все системы производства, передачи и распределения электроэнергии (воздушные линии электропередач, электростанции, кабельные системы и др.). СНЧ–сигнал 50 Гц имеет не только выраженные кратные составляющие (их частоты – 100, 150, 200 Гц и т.д.), но еще и субгармоники ($50 \text{ Гц}/2 = 25 \text{ Гц}$, $50 \text{ Гц}/3 \approx 16,6 \text{ Гц}$, $50 \text{ Гц}/4 = 12,5 \text{ Гц}$, а также 10, 20, 30 Гц и т.п.), которые попадают в диапазон крайне низких частот.

Вклад техногенных источников максимален в крупных городах и значительно снижается за их пределами. Наиболее мощным естественным источником КНЧ–волн является глобальная грозовая активность [11–21]. По всему земному шару грозовые облака распределены неравномерно. Основная их часть (~75%) наблюдается в диапазоне широт между $30^{\circ}S$ и $30^{\circ}N$, где они образуются в течение всего года. На более высоких широтах такие облака наблюдаются, в основном, в летнее время. Интенсивность грозовой деятельности тесно связана с рельефом местности. В горных районах грозовая активность увеличивается, на высотах более 2.5 км начинает ослабевать, а выше 5.5 км грозы регистрируются крайне редко.

1.2 Среда распространения КНЧ ЭМ–волн

Средой распространения ЭМ–волн КНЧ–диапазона является ионосфера [22], которая испытывает разнообразные внешние воздействия. Модификация ионосферы имеет разнообразные пространственные и временные масштабы. Регулярные (квазипериодические) изменения состояния нижней ионосферы неминуемо находят свой отклик в состоянии ЭМ–фона окружающей среды. Интерференция КНЧ ЭМ–волн в окружающей среде (в полости между проводящей поверхностью Земли и ионосферой) приводит к возникновению глобального явления, называемого Шумановскими резонансами [20].

Шумановские резонансы – явление интерференции волн, длина которых соизмерима с геометрическими размерами Земли, вызванное излучением источников глобальной грозовой активности. Первым теоретически рассчитал собственные частоты для идеального сферического резонатора В.О. Шуман в 1952 г [3]. В окружающей среде экспериментально это явление открыли М. Бальсер и Ч. Вагнер в 1960 году [4]. Схематично резонатор Земля–ионосфера показан на рисунке 1. Поверхность этого резонатора имеют сложную структуру.



Рисунок 1 – Схематическое изображение резонатора Земля – ионосфера [20]

Поверхность Земли является неоднородной, её электрические параметры различны в различных регионах и, кроме того, часто не остаются постоянными в пределах глубины скин-слоя. Основание ионосферы представляет собой многокомпонентную слабо-ионизированную магнитоактивную плазму. Она неоднородна как в вертикальном, так и в

горизонтальном направлениях, а ее изменения во времени строго контролируется воздействием солнечного волнового и корпускулярного излучения [22].

В своей работе, Шуман В.О. проанализировал колебания, возбуждаемые разрядами молний в сферической полости, Земля–ионосфера [20]. Полученное решение электродинамической задачи в настоящее время называется формулой Шумана:

$$f_n = \frac{c}{2\pi a} \sqrt{n(n+1)} \text{ Гц,}$$

где n – номер моды, c – скорость света в вакууме, a – радиус Земли. Значения частот, полученные Шуманом, составляют: 10.6; 18.3; 25.9; 33.5 герц.

Регулярные (квазипериодические) изменения состояния нижней ионосферы неминуемо находят свой отклик в состоянии ЭМ–фона окружающей среды, в том числе, и в резонансных характеристиках мод ШР, для амплитуд. На фоне регулярных вариаций компонент ЭМ–фона наблюдаются возмущения (рисунок 2 б), вызванные местными грозами [7].

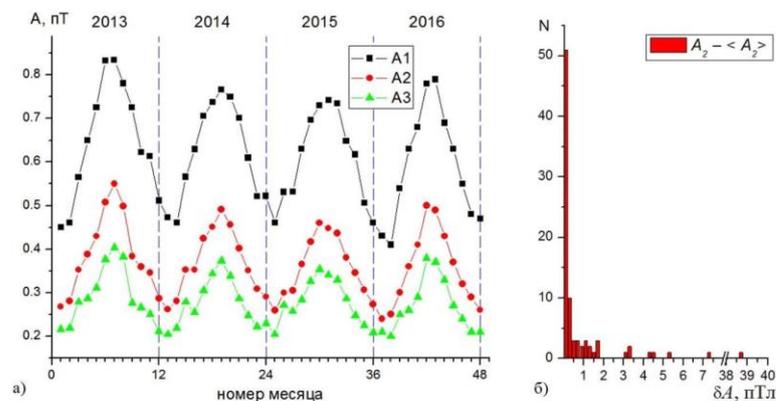


Рисунок 2 – Регулярные вариации амплитуд первых трех мод ШР; распределение возмущений амплитуды второй моды ШР в сентябре 2017 года

1.3 Влияние ЭМП на окружающую среду

В последние годы в научной литературе все чаще появляются работы, свидетельствующие об эффектах воздействия магнитного и электрического полей низкочастотного диапазона на протекание процессов в биологических объектах [20, 23, 24]. Магнитные и электрические поля низких частот с точки

зрения классической физики малы для того, чтобы значительно повлиять на состояние живых систем, однако, практика опровергает это утверждение. Поэтому, все чаще при объяснении этих явлений привлекаются такие разделы математики и физики, как теория информации, теория вероятностей, квантовая механика и т.п.

В настоящее время накопилось достаточно большое количество достоверных экспериментальных данных о нетепловых эффектах электромагнитных полей, о чрезвычайно высокой чувствительности к электромагнитным полям (в том числе слабым) живых организмов самых различных классов – от одноклеточных до человека. Биологические исследования показали, что самые различные организмы чувствительны к постоянному магнитному полю и ЭМП различных частот, с энергией на десятки порядков ниже теоретически оцененной [24].

К сегодняшнему дню все большую актуальность приобретает вопрос о механизмах и результатах воздействия ЭМП на различные биологические объекты. К настоящему моменту проведены исследования на множестве различных биообъектов как животного, так и растительного мира. Но наиболее достоверные результаты могут быть достигнуты при изучении воздействия на простейшие формы организмов, а также на клеточные и субклеточные формирования. Множество исследований проведено по изучению эффектов нетеплового воздействия ЭМП на растительные объекты, среди которых присутствуют семена и корнеплоды различных сельскохозяйственных культур, в частности, семена пшеницы и сахарной свеклы, ее диффузионный и клеточный сок.

При рассмотрении вероятных механизмов воздействия ЭМП на биологические системы исходят из того, что одними из наиболее чувствительных к внешним воздействиям процессов являются переходы различных белков, в частности периферических, из связанного на мембранах состояния в водную среду. Подобные однонаправленные процессы происходят на определенных стадиях выхода семян из состояния покоя.

Такие переходы белков из-за роста числа степеней свободы для белковых групп в водной среде и соответственно энтропии системы должны быть связаны с малым изменением свободной энергии. Они могут быть вызваны чувствительными к влиянию ЭМП локальными изменениями рН или ионной силы, или концентрации ионов Ca^{2+} , причем данные моделирования показывают, что эффекты ЭМП в области низких частот (от 0,1 до 102 Гц) могут быть существенно усилены за счет нелинейных процессов в примембранном слое [24].

Одной из возможных причин неадекватного ответа биологических объектов на действие слабого ЭМП низких частот может быть наличие собственных колебаний проводимости в воде, лежащих в этом диапазоне. Большинство биополимеров функционируют в водной среде, взаимодействие составляющих их мономеров определяет пространственную конфигурацию макромолекул. В связи с этим эффекты изменения структуры воды вблизи молекул растворенных веществ существенным образом должны отражаться на конфигурации макромолекул, в процессах активного транспорта крупных молекул через мембрану посредством пермиаз, а также пассивного транспорта ионов через мембрану [24].

В случае воздействия ЭМП КНЧ на человека имеются исследования, которые показали возможность синхронизации биоритмов (коры головного мозга и сердечнососудистой системы) человека с резонансными модами околосемных резонаторов. Доля воздействия доходит до 15% [20].

1.4 Измерения КНЧ ЭМ–фона окружающей среды

Для получения полной картины электромагнитного поля резонанса по мнению А.П. Николанко [11] необходимо измерение всех пространственных компонент электрического и магнитного полей. Однако, учитывая, что основной вклад в возбуждение резонансов вносят вертикальные грозовые разряды, можно для большинства задач принять, что поляризация

электромагнитного поля резонансов является вертикальной и ограничиться измерением вертикальной компоненты электрического поля и двух горизонтальных компонент магнитного. Кроме того, создание электрических антенн для сигналов резонанса Шумана является намного более сложной задачей, чем создание магнитных антенн. Поэтому на практике в большинстве случаев ограничиваются измерением только двух горизонтальных магнитных составляющих. Другие составляющие, в частности вертикальную электрическую или вертикальную магнитную, измеряют в случае особой необходимости.

Отдельную проблему представляет расположение измерительной аппаратуры в связи с существенным уровнем электромагнитных помех неприродного происхождения. Поэтому станции измерения и мониторинга размещают вдали от промышленных зон, населенных пунктов, транспортных магистралей и линий электропередач.

В качестве датчика для измерения магнитной компоненты используется катушка-зонд, представляющая собой катушку индуктивности с большим числом витков. В большинстве случаев для повышения чувствительности и уменьшения габаритов она снабжается сердечником из материала с высокой магнитной проницаемостью. На сердечнике также может размещаться калибровочная обмотка, используемая для контроля и калибровки датчика в производстве и в эксплуатации. В Томске эти измерения проводятся с 2013 на полигоне вблизи с. Коларово (56.34 С.Ш., 84.95 В.Д) на удалении 17 км от города Томска. Измерения магнитной индукции ЭМ-поля проводятся с помощью трехкомпонентного индукционного магнитометра LEMI-30 [8, 10, 26]. Регистрация данных осуществляется с привязкой к мировому времени UT.

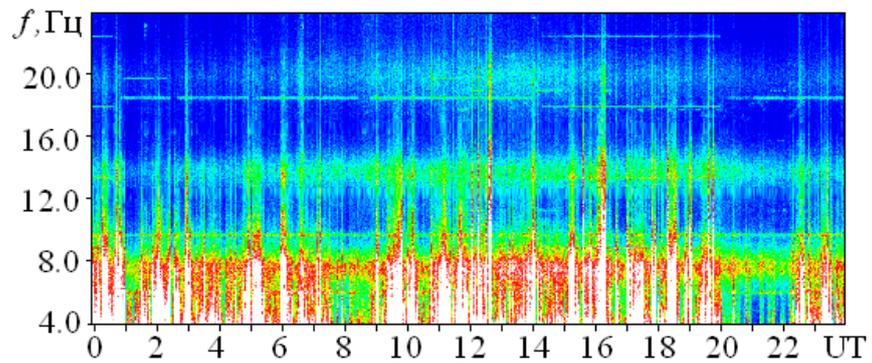


Рисунок 3 – Спектрограмма модуля магнитной индукции B_{xy} на полигоне ТГУ «Коларово»

На магнитной станции «Байгазан» использовался индукционный магнитометр разработки лаборатории робототехники ГАГУ на базе индукционных датчиков ИНТ-1 [25], при помощи которых осуществлялась цифровая регистрация двух ортогональных компонент магнитной индукции электромагнитного поля: B_x и B_y (частота дискретизации АЦП – 100 Гц). Обработка данных проводилась по методике, принятой в НИ ТГУ [10]. Для каждой компоненты индукции поля во временном окне длительностью 10 с (спектральное разрешение – 0,1 Гц) посредством дискретного преобразования Фурье рассчитываются амплитудные спектры $B_x(f)$ и $B_y(f)$ и далее определяются значения модуля горизонтальной компоненты $B_{xy}(f)$. Путем усреднения динамических спектров на трехминутных интервалах (по ансамблю из 18 реализаций) далее определялись основные спектральные характеристики шумановских резонансов, а именно амплитуды и резонансные частоты (A_j и f_j) первых трех мод ($j = 1..3$).

Проводимая статистическая обработка позволила вычислить среднемесячные значения частот и амплитуд ШР трех резонансных мод за период с 2016 по 2018 год. Для всех трех мод ШР у их амплитуд наблюдался явно выраженный сезонный ход с максимумом в летние месяцы и минимумом – в зимние [10]. При этом летние среднемесячные максимумы в ~ 1.85 выше зимних минимумов. Наблюдения показали, что кроме выраженных сезонных вариаций имеют место вариации резонансных параметров с масштабами порядка суток и менее (12 часов, 8 часов и т.д.).

Сезонно-суточное распределение амплитуд (A_1 , A_2 , A_3) первых трех мод на Алтае представлено на рисунке 4, здесь месяц с номером 1 – январь 2016 [7].

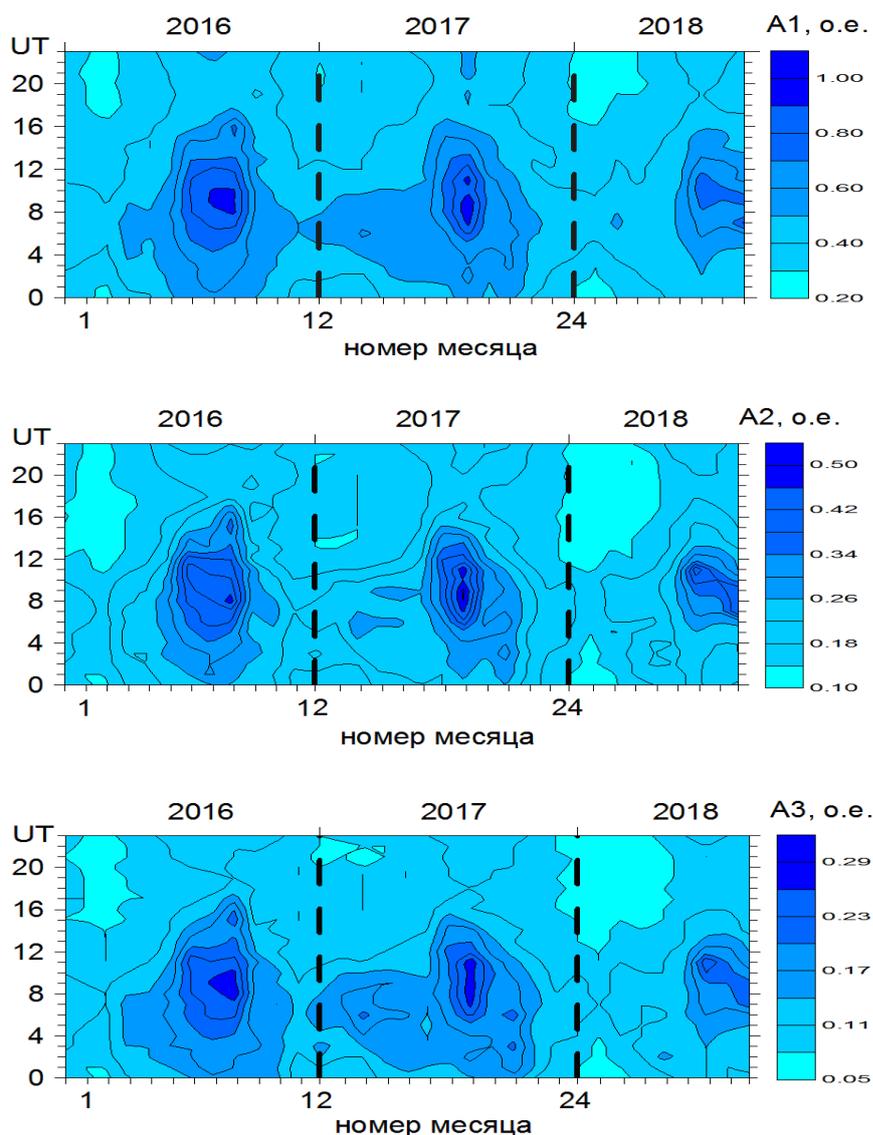


Рисунок 4 – Сезонно-суточные распределения амплитуд первых трех мод ШР на Байгазане за период с 2016 г. по 2018 г.

1.5 Измерение электрической компоненты

В качестве датчика для измерения вертикальной электрической компоненты используют токопроводящую сферу, диск или другое обтекаемое тело, устанавливаемое на высоте нескольких метров над землей на опоре из пакета изоляторов со сверхмалым током утечки.

Такой датчик фактически является конденсатором, одной обкладкой

которого служит само тело, другой – земля, а электрическим полем между ними – вертикальная компонента естественного электрического поля. Поэтому при изменении напряженности вертикальной электрической компоненты резонанса Шумана изменяется потенциал проводящего тела относительно земли, и измерение сводится к измерению именно этого потенциала. Главной проблемой измерения при этом является малая величина емкости этого конденсатора и, соответственно, его исключительно высокое выходное сопротивление как источника электрического сигнала, на частотах измерения достигающее нескольких гигаом.

Структура канала измерения электрической компоненты выглядит так, что сначала на его входе стоит предусилитель, далее - набор фильтров для формирования требуемой полосы пропускания, а на выходе - выходной масштабирующий усилитель с регулируемым коэффициентом передачи, подключаемый к выходам требуемых фильтров. Основной проблемой канала является обеспечение требуемого (на уровне нескольких единиц или даже десятков гигаом) входного сопротивления предусилителя при минимальном, как и в случае индуктивного датчика, уровне собственных шумов.

В Томском государственном университете проводят измерение вертикальной электрической компоненты с 1997 года. В настоящее время штыревая антенна размером 5 метров установлена на крыше лабораторного корпуса СФТИ (11 учебный корпус ТГУ) и ведёт непрерывную регистрацию электромагнитного КНЧ-фона окружающей среды. Это антенна предназначена для стационарных измерений и имеет достаточно большие габариты. Для измерений с большой мобильностью существуют сферические антенны (ball antenna). Первую принципиальную схему предложил Т. Огава в 1966 году, и они быстро набрали популярность [19].



Станция Mitzpe Ramon (Израиль)



Станция Nagycenk (Венгрия)



Станция Moshiri (Япония)



Станция Calcutta (Индия)

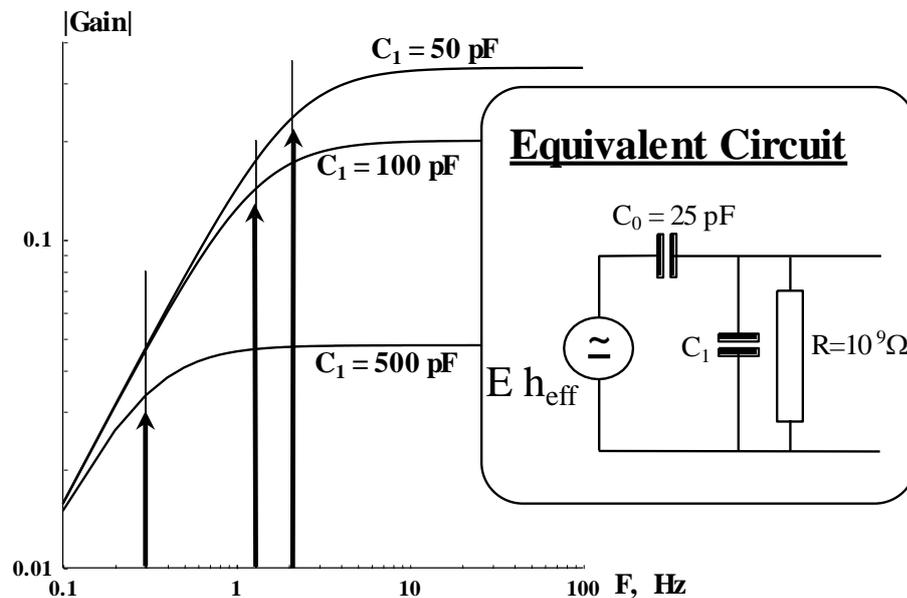


Рисунок 5 – Принципиальная электрическая схема Т. Огавы с частотной характеристикой

Эта схема демонстрирует, что нет принципиальной разницы между всеми используемыми антеннами: между шаровой антенной и вертикальной металлической башней (Balser and Wagner, 1960), Г-образной антенной, представляющей собой горизонтальный провод, протянутый над землей (Rycroft, 1965), двумя горизонтальными пластинами или конденсаторной

антенной (Jones и Кемп, 1970), цилиндрической антенной (Блиох и др., 1971, Блиох и др., 1977) или других антенн. Единственное отличие заключается в способе создания собственной емкости активного электрода антенны.

$$U_{IN} = E \cdot h_{eff} \cdot G_{EA},$$

$$G_{EA} = \frac{i\omega R C_0}{1 + i\omega R (C_0 + C_1)},$$

где E напряженность вертикального электрического поля в В/м, h_{eff} – эффективная высота антенны, C_0 – собственная емкость активного электрода антенны, которая зависит от его геометрии. C_1 и R являются входной емкостью и сопротивлением антенного предусилителя.

Частота среза электрической антенны зависит от величины произведения $R(C_0 + C_1)$, и ее коэффициент усиления на высоких частотах асимптотически приближается к соотношению $C_0/(C_1 + C_0)$ (см. рис. 3). Очевидно, что для любой реальной емкости входное сопротивление должно быть очень высоким.

На рис. 5 показаны три типичные амплитудные характеристики усиления антенны для $C_0 = 25$ пФ (активный электрод диаметром 55 см), $R = 10^9$ Ом и набора входных емкостей $C_1 = 50, 100$ и 500 пФ. Логарифм частоты в Гц показан вдоль оси абсцисс на графике, а логарифм усиления нанесен вдоль оси ординат. Вертикальные стрелки указывают частоты среза для различной емкости C_1 . Очевидно, что более высокая входная емкость обеспечивает более низкую частоту среза при одновременном снижении выходного коэффициента усиления [19].

Все интересующие параметры ШР – резонансные частоты, амплитуды, добротности и их изменение во времени могут быть получены только путем цифровой фильтрации и последующего спектрального анализа измеряемых сигналов, для чего они должны быть представлены в виде оцифрованных выборок. Оцифровку осуществляют с помощью стандартных регистраторов-дигитайзеров либо с помощью стандартных аналого-цифровых

преобразователей, сопряженных с ЭВМ. В связи с низкими частотами сигнала оцифровка каких-либо серьезных проблем не представляет. Обычно используют аналого-цифровое преобразование с разрядностью 16 – 24 бит и частотой выборки от 40 до 200 Гц. Оцифрованный сигнал записывают в буферную оперативную или флэш-память регистратора, откуда передают по проводному интерфейсу или беспроводному каналу связи (например, GSM) в удаленную ЭВМ для последующей цифровой обработки [5].

Для привязки оцифрованного сигнала к меткам времени используются внешние сигналы. Обычно для этой цели используется GPS-сигнал временной синхронизации, однако могут быть использованы и другие варианты, например, синхронизация по радиосигналам станций точного времени или по данным NT-серверов сети Интернет.

Возможный вариант структуры системы сбора данных резонанса Шумана с передачей их в центральную удаленную ЭВМ показан на рис.4

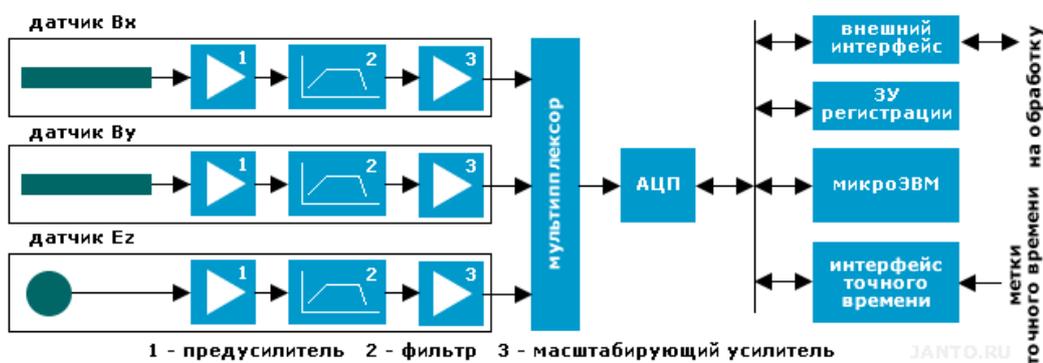


Рисунок 6 – Система сбора и передачи данных шумановских резонансов

1.6 Обработка экспериментальных данных

Полезную информацию, необходимую для использования резонанса Шумана в научных и практических целях, несет как сам сигнал во временной области, так и его спектральная характеристика. Сигналы во временной области используются для вычисления суммарных параметров электрической и магнитной компонент и вектора Пойнтинга во всем диапазоне частот. Кроме того, обработка сигнала во временной области позволяет

обнаруживать Q-импульсы – кратковременные всплески, амплитуда которых существенно (на порядок и более) превышает фоновый уровень сигнала резонанса. Данные всплески возникают при сверхмощных грозовых разрядах, вызывающих различные световые явления в ионосфере, в частности, спрайты, и используются в качестве индикатора при «охоте» за последними.

Спектральный анализ используется для вычисления кратковременных и усредненных за заданный период параметров резонансов – центральных частот, амплитуд и добротностей, и их вариаций в течение заданных интервалов наблюдения. Данные параметры используются для постоянного мониторинга состояния ионосферы, а также в различных геофизических исследованиях. Для вычисления спектральной характеристики чаще всего используют быстрое преобразование Фурье, но для ряда задач могут использоваться и другие преобразования, например, Гильберта.

Главной проблемой при обработке сигналов резонанса Шумана является исключительно высокий уровень помех, превышающий фоновый уровень на 40–70 дБ, поэтому первостепенной задачей является фильтрация данных помех, которая может производиться как во временной, так и в частотной области.

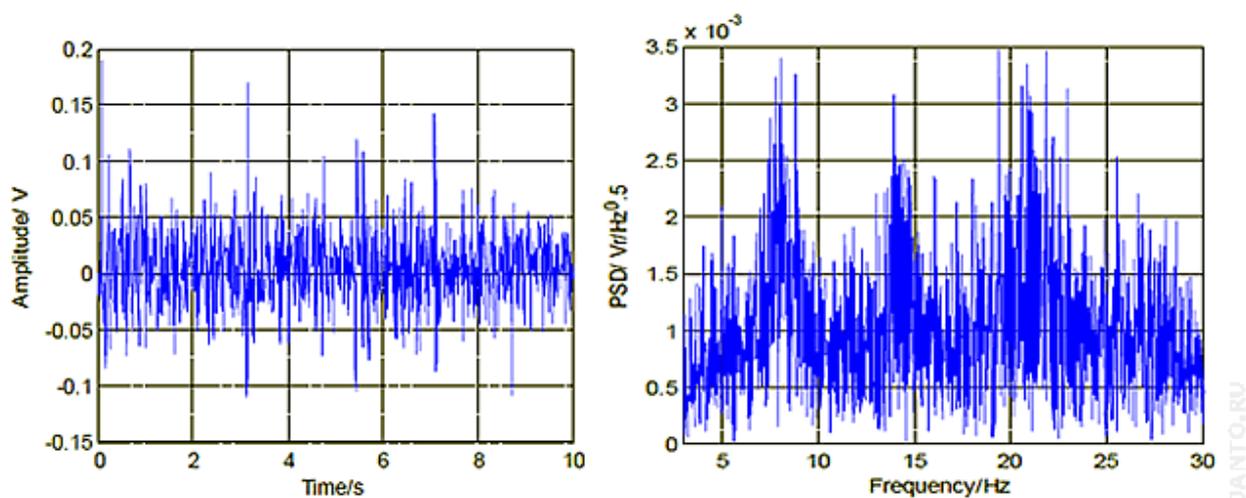


Рисунок 7 – Исходный сигнал резонанса Шумана с наложенными помехами (слева) и его спектральная характеристика (справа)

Для фильтрации помех могут использоваться различные приемы и методы из известного арсенала статистической обработки данных и цифровой фильтрации, в частности: методы периодограмм, используемые для получения усредненных значений сигналов и их спектров; методы, основанные на алгоритмах сингулярного разложения матриц (SVD – Singular Value Decomposition), используемые для фильтрации случайных импульсных помех, например, широко используемые для обработки изображений медианные фильтры; методы, основанные на аппроксимации спектральных характеристик специальными функциями, из которых наиболее часто используется аппроксимация функциями Лоренца, а также целый ряд других. В качестве программных средств при этом используются как специализированные программные средства, в т.ч. встраиваемые в прикладные программы, предназначенные для извлечения из резонанса Шумана конкретной информации, так и готовые универсальные пакеты типа Mathematica, MathCad, MathLab и др.

Для примера на рис. 8 показан результат фильтрации спектрограммы методом SVD, а на рис. 9 – результат обработки спектральной характеристики методами периодограмм, SVD.

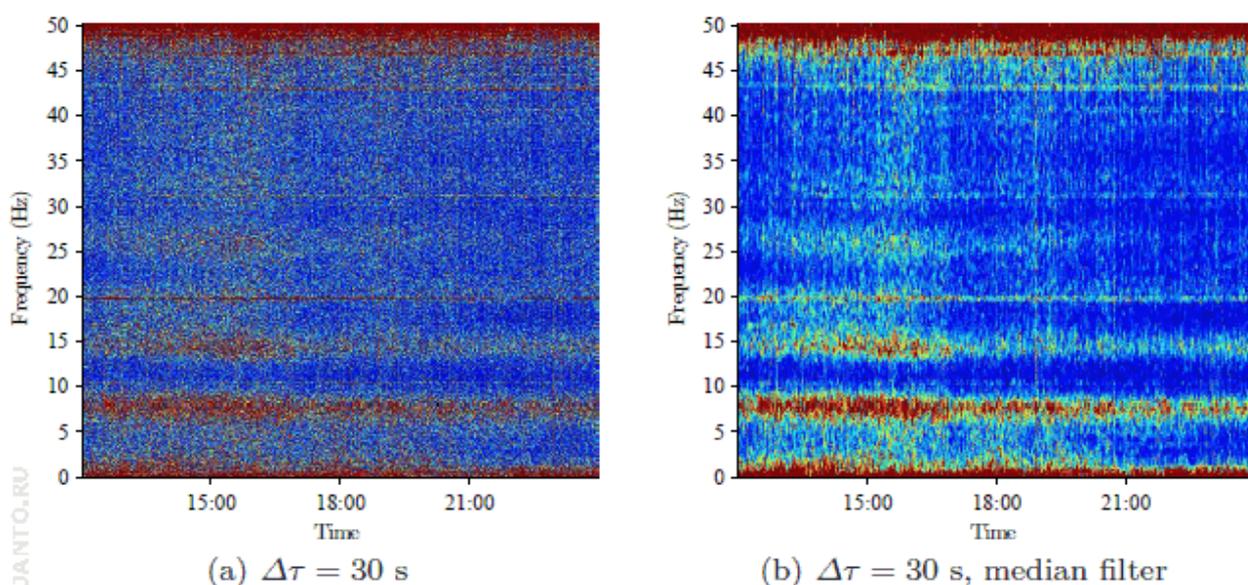


Рисунок 8 – Исходная и обработанная медианным фильтром спектрограмма шумановские резонансы

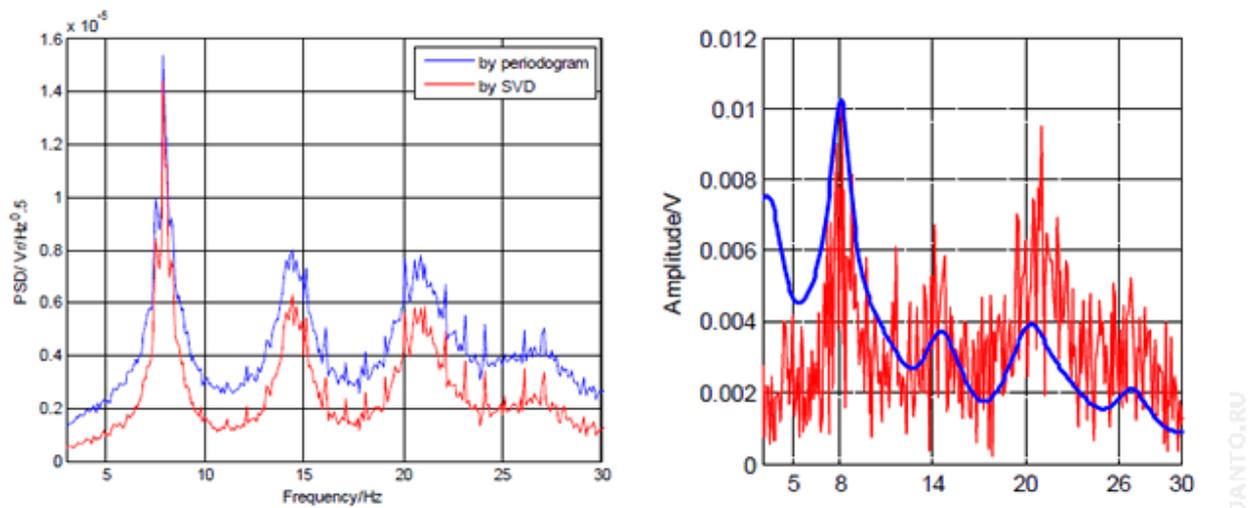


Рисунок 9 – Результат обработки спектральной характеристики методами периодограмм и SVD (слева) и аппроксимацией по Лоренцу (справа)

Задача фильтрации помех при наблюдении за резонансом Шумана является достаточно сложной и разноплановой и зависит от параметров локальных помех и прикладных задач. Поэтому на практике используется достаточно широкий круг методов и алгоритмов, в т.ч. постоянно ведется разработка новых. Подробный разбор данной проблематики выходит за рамки настоящего обзора и является предметом отдельной работы.

Отфильтрованные сигналы и спектры далее используются для извлечения информации, необходимой для конкретных прикладных задач. Это могут быть как параметры самих сигналов, так и параметры резонансов - частоты, амплитуды и добротности, усредненные за заданный период времени, а также их вариации. Для этой цели могут использоваться как разрабатываемые прикладные программы, так и универсальные программные пакеты, в т.ч. упомянутые выше. Проблематика прикладной обработки будет рассмотрена в главе, посвященной научно-практическим приложениям, использующим резонанс Шумана как источник геофизической информации.

2 Изготовление лабораторного образца сферической антенны

2.1 Подготовительный этап

Для оценки возможностей и перспектив успешного достижения поставленной цели был проведен подготовительный этап выполнения работы, который включал:

1) Ревизию материальной базы, а именно наличного оборудования (научного, измерительного, производственного, монтажного); программного обеспечения; производственных материалов (сырья, фурнитуры, и т.п.).

2) Анализ материалов и технологий изготовления сферических антенн, практикуемых в мировой науке и технике.

3) Планирование этапов производства с учетом ТТХ изделия и реальных экономических возможностей.

Проведенные оценки позволяют предложить возможные варианты конструкции, осуществить осознанный выбор оптимального технологического решения (обусловленного реальными возможностями) и выйти на этап макетирования изделия.

На кафедре космической физики и экологии ТГУ (в аудитории 422) расположен измерительно-вычислительный комплекс [5], который регистрирует КНЧ ЭМ-фон с 1997 года (см. рисунки 10–13). С того времени проведён ряд модернизаций этого комплекса. Основные характеристики различных модификаций в целом сохраняются. Приведём описание последней модификации. Блок схема установки показана на рисунке 11.

В состав комплекса входит:

а – Штыревая антенна высотой 5 м.

б – Входной малошумящий режекторный фильтр частоты 50 Гц с ослаблением в полосе заграждения 40 дБ/окт.

в – Высокочувствительный усилитель с выходным активным фильтром нижних частот 35 Гц на с ослаблением за полосой пропускания 20 дБ/окт. Затухание в полосе пропускания не более 0,5 дБ.

д – Активный фильтр нижний частот, частота среза 31 Гц. Ослабление за частотой среза 24дБ/окт. Остаточное затухание в полосе пропускания не более 0,5 Гц. Максимальное затухание в полосе задержания 60 дБ.

е – Аналого-цифровой преобразователь L 783М входящий в состав компьютера, имеет следующие технические характеристики:

Количество каналов	16 дифференциальных
Разрядность АЦП	12 бит
Входное сопротивление	Не менее 1 МОм
Поддиапазоны измерения	± 5 В, $\pm 2,5$ В, $\pm 1,25$ В, $\pm 0,6$ В
Максимальная частота преобразования	3 МГц

ж – Персональный компьютер.



Рисунок 10 – Измерительно вычислительный комплекс мониторинга физических полей окружающей среды кафедры космической физики и экологии РФФ ТГУ

Элементы, обозначенные (б–д), технологически входят в состав измерительного устройства УН-1 (рис. 12). АЧХ УН-1 приведена на рисунке 13.

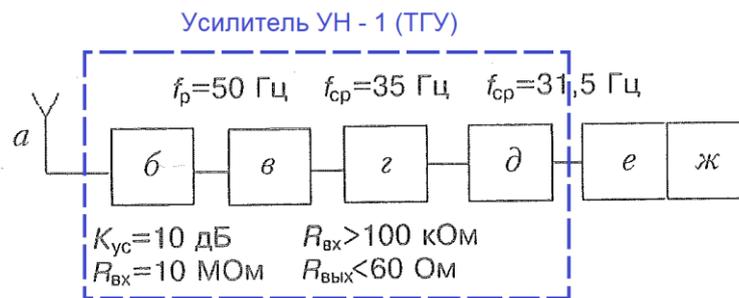


Рисунок 11 – Блок схема измерительного вычислительного комплекса мониторинга физических полей окружающей среды кафедры космической физики и экологии РФФ ТГУ



Рисунок 12 – Усилитель УН-1

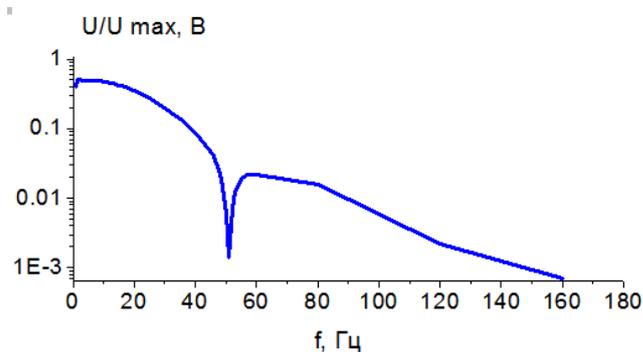


Рисунок 13 – АЧХ усилителя УН-1

В наличии имеется второй экземпляр данного усилителя, что позволяет сравнивать данные при проведении регистрации КНЧ–фона на штыревой антенне и сферической одновременно включенных параллельно в состав измерительного комплекса ТГУ.

Комплекс обеспечен всем необходимым программным обеспечением. Кроме того в наличие имеется требуемое монтажное и производственное оборудование, коаксиальные линии связи и т.п.

2.2 Этапы изготовления макета сферической антенны

На следующем этапе решалась комплексная задача по оценке оптимального (в существующих условиях) способа реализации сферической антенны. Эта сложная задача обусловлена согласованностью следующих входных параметров:

- Тактико-технические характеристики изделия
- Материалы и технология изготовления
- Способ сборки
- Электронное макетирование
- Оценка времени и трудозатрат процесса изготовления изделия
- Экономические вложения.

При решении комплексной задачи была сделан «упор» на тактико-технические характеристики изделия при минимизации денежных вложений с учетом заданного времени (время выполнения ВКР). Выбор материалов осуществлялся по принципу учета соотношения «цена/качество». Приоритет отдавался более «бюджетным» решениям, но без существенных потерь для тактико-технических характеристик конечного изделия. Проведенное моделирование конструкции антенны и электронное макетирование (рис. 14) позволило выбрать способ и технологию изготовления.

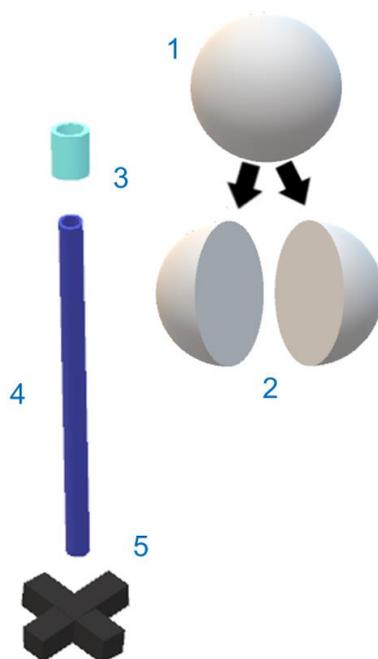


Рисунок 14 – Основные элементы изделия

На рисунке 14 приведены основные элементы изделия:

1. Полая диэлектрическая сфера диаметром ~10 дюймов (254 мм), с толщиной стенки ~7 мм, покрытая проводящей оболочкой.
2. Сфера технологически изготавливается из 2 симметричных

полусфер.

3. Керамический квазицилиндрический изолятор с размерами $\sim 80 \times 80$ мм, имеющий технологическое отверстие.
4. Стойка крепежа антенны из диэлектрического материала с длиной, сопоставимой с высотой сидящего человека $\sim 1,3$ м.
5. Основание в виде креста из диэлектрического материала. Длина бруска ~ 0.5 м.

Отметим, что при изготовлении лабораторного макета сферической антенны, отталкивались от принципиальной схемы Т. Огавы (рис. 3). Основные этапы изготовления сферической антенны приведены на рисунке 15.



Рисунок 15 – Основные этапы изготовления сферической антенны М. Жердецких

Каркас антенны был изготовлен из целлюлозы – 67 слоёв с армирующими волокнами из хлопка. Толщина макета составила в среднем 0.7 см, что обеспечило требуемые массогабаритные параметры и жесткость конструкции (рис. 16 б).



Рисунок 16 – Этапы изготовления сферической антенны а) подготовка; б) изготовление многослойной оболочки из целлюлозы

Для придания дополнительной жёсткости конструкции и гидроизоляции изделия я использовал эпоксидную смолу ЭПД-1 и столкнулся с неожиданной проблемой – деформации полусфер в области технологического разреза. С помощью металлических стяжек удалось купировать эту проблему и добиться почти идеальных параметров сферичности (рисунок 17). Радиус сферы $R \approx 113.5$ мм.



Рисунок 17 – Корректировка поверхности сферы (устранение эллиптичности)

В данной конструкции мы предусмотрели возможность получать доступ внутрь изделия. Так же предусмотрели технологические отверстия для вывода верхнего контакта и установки крепления антенны на стойке. После корректировки сферичности антенны мы соединили полусферы армированной ткане-полиэтиленовой лентой и покрыли фольгированным слоем общей толщиной 65 мкм, заготовили 2 контакта в верхней части антенны и нижней. Коммутировали верхнюю точку антенны с коаксиальным кабелем и подключили к измерительному комплексу.

Так как изготовленная антенна является антенной ёмкостного типа, ее емкость определяется ее же геометрией и может быть рассчитана по формуле:

$$C_0 = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d},$$

где ϵ_0 – диэлектрическая проницаемость вакуума, ϵ – относительная диэлектрическая проницаемость воздуха, равная 1, S – площадь поверхности сферы, d – диаметр сферы. В результате получилось значение $C_0 \sim 12.5$ пФ.



Рисунок 18 – Готовый образец сферической антенны

Основание в виде крестовины (рисунок 18) изготовлено из древесины. Размеры брусков $\sim 0.05 \times 0.05 \times 0.5$ м. Стойка крепежа антенны изготовлена из ПВХ (диэлектрического водостойкого материала). Длина сопоставима с положением головы человека, сидящего на стуле (в кресле) ~ 1.3 м. В представленной конструкции пришлось отказаться от керамического изолятора.

Таким образом, в процессе выполнения работы создан рабочий образец, который включен в пробную серию измерений совместно с усилителем УН-1 в составе измерительного вычислительного комплекса

мониторинга физических полей окружающей среды кафедры космической физики и экологии РФФ ТГУ.

2.3 Измерение электромагнитного КНЧ–фона

В ходе проведения лабораторного эксперимента получены спектрограммы для 12.12.2022 (рис. 19). Штатное программное обеспечение позволило сразу провести сравнительный анализ спектральных характеристик для двух каналов (где используется сферическая и штыревая антенны).

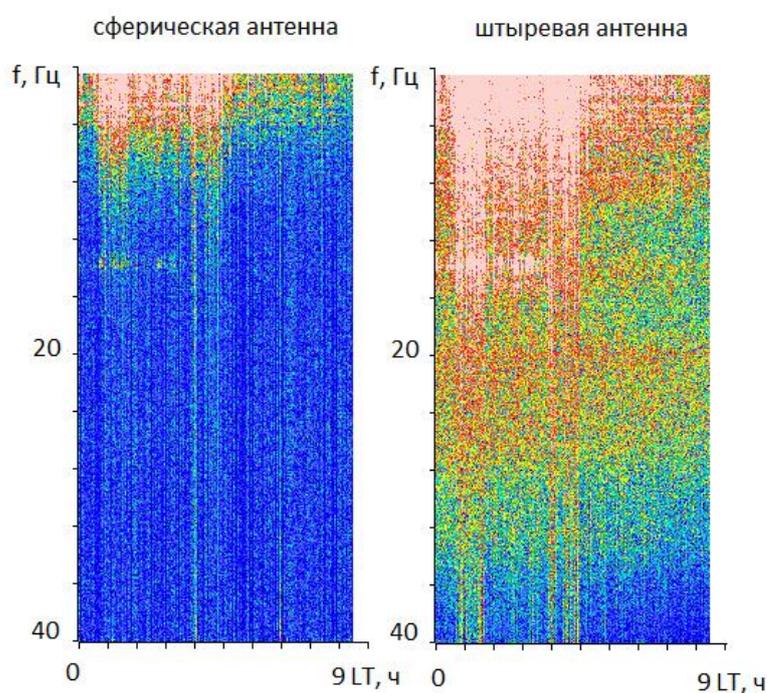


Рисунок 19 – Сравнение спектрограмм

Отметим, что коэффициенты усиления для этих двух каналов отличается на 10 дБ (сферическая антенна–80 дБ, штыревая антенна–70 дБ), а масштабы цветовой шкалы идентичны (привязаны к амплитуде сигнала в отсчётах АЦП). Кроме того сферическая антенна находилась внутри здания, которое обладает экранирующими свойствами, причём с увеличением частоты эти свойства проявляют себя сильнее.

Проанализировав спектрограммы для сферической антенны и антенны

штырь, можно отметить: схожесть в низкочастотных частях спектров. По-видимому, это связано с прохождением в этот день фронта циклона, который зарегистрировали обе измерительные установки.

Детальный анализ выборочных спектров позволяет получить количественные оценки амплитуд спектральных гармоник в этих каналах на различных (интересующих чем-то) частотах (рис. 20).

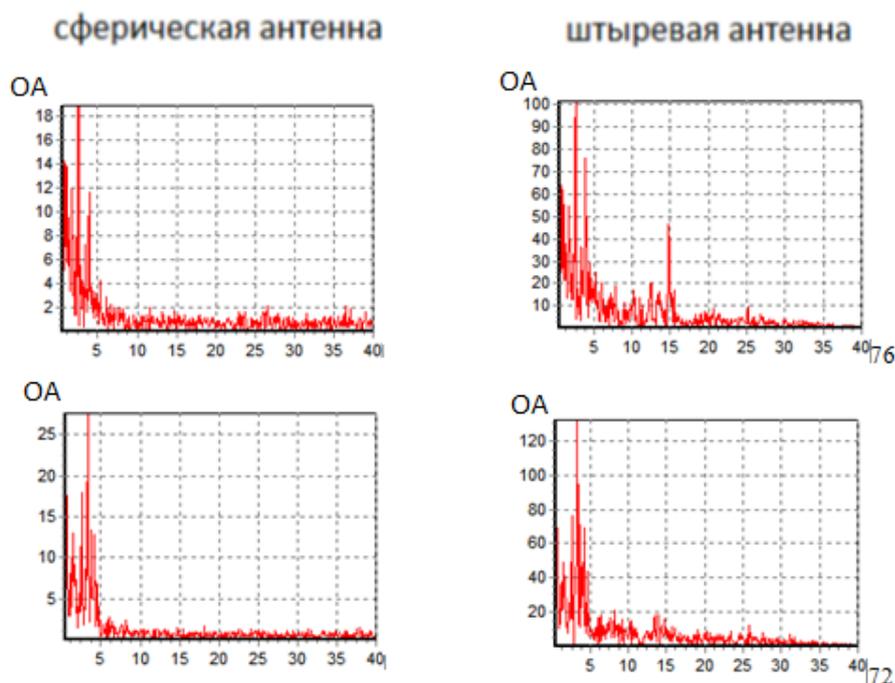


Рисунок 20 – Сравнение выборочных спектров

Были выбраны два произвольных момента времени: 03:36LT и 03:48LT (рис. 20), что соответствует номеру 72-ого и 76-ого трех минутного интервала времени в сутках. Подчеркнём, что «трехминутки» являются единичным элементом для анализа в базовой версии ПО, используемого в ТГУ. Для определенности отметим, что выборочные спектры строятся для первого 10 секундного интервала выбранной трехминутки.

На рисунке 20 для 72 трехминутки максимальная по амплитуде спектральная гармоника наблюдается на частоте вблизи 0.35 Гц и равна примерно 26 и 130 отсчету АЦП (сферическая и штыревая антенна), а для 76 (на частоте вблизи 0.3 Гц) – 20 и 100 ОА. Отметим сходство положения минимумов и максимумов спектров в диапазоне до 5 Гц. Так же можно

отметить, что на штыревой антенне можно четко увидеть моды ШР. Отношение уровня сигналов на выбранных частотах для этих двух каналов оказалась равна примерно 5, а с учётом коэффициента усиления составила примерно 15.8.

Получены предварительные результаты анализа измерений электрической компоненты ЭМ-фона с помощью сферической антенны в полосе частот до 40 Гц в помещении №422 лабораторного корпуса СФТИ (11-го учебного корпуса ТГУ). Отмечено сходство низкочастотных составляющих в спектрах измерений на штыревую и сферическую антенны.

2.4 Анализ экспериментальных данных

В отличие от визуального оценивания на практике более надежным способом являются классические методы корреляционного [27] и регрессионного анализа [28]. Наиболее часто используемой оценкой линейной статистической связи является вычисление коэффициента корреляции Пирсона:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

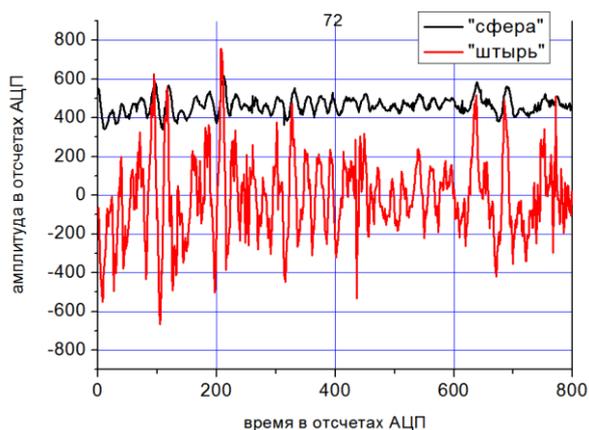
Здесь n – размер экспериментальной выборки (количество значений), x_i и y_i – выборочные значения для параметров X и Y , \bar{x} , \bar{y} – средние значения.

Чтобы проверить, является ли корреляция между двумя переменными статистически значимой, можно найти следующую тестовую статистику:

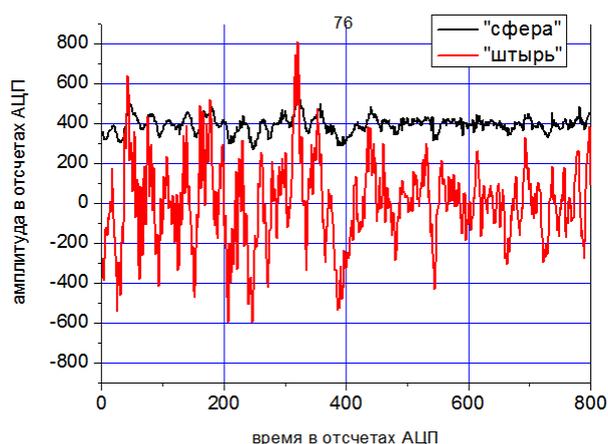
$$T = r_{xy} \frac{\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r_{xy}^2}}$$

Далее в тексте индекс « xy » у коэффициентов корреляции будем опускать, считая $r \equiv r_{xy}$.

Представленным выше спектрам соответствуют временные реализации, приведенные на рисунке 21.



а)



б)

Рисунок 21 – Временные реализации в окне 10 секунд для а) 03:36LT, б) 03:48LT

Статистическое оценивание для представленных данных позволило определить статистические моменты (среднее значение, среднеквадратическое отклонение и коэффициент корреляции). Вычисление проводились в математическом пакете обработки данных Origin 7.0, корреляция рассчитывалась в MS Excel 2010. Для временной реализации 03:36LT получено: а) для сферической антенны среднее значение равно 463.53, среднеквадратическое отклонение равно 43.82; б) для штыревой антенны среднее значение равно 12.42, среднеквадратическое отклонение равно 208.28. Коэффициент корреляции между рядами данных 0.64.

Для 03:48LT аналогично: а) для сферической антенны среднее значение равно 394.53, среднеквадратическое отклонение равно 41.93, а для штыревой антенны среднее значение отрицательное и равно -1.07, среднеквадратическое отклонение равно 210.02. Коэффициент корреляции для данных реализаций составил 0.73.

При анализе статистических моментов временных реализаций нужно обратить внимание на положительные и отрицательные аспекты анализа. А именно, к положительным можно отнести то, что у нас достаточно высокие коэффициенты корреляции ($r = 0.64$ и $r = 0.73$). Это подтверждает схожесть двух сигналов, измеренных на разные антенны. Однако различные места проведения измерений (см. раздел 2.3) не позволяли надеяться на большие

величины. На временных реализациях, большое среднеквадратическое значение у штыревой антенны (208.28 и 210.02), что показывает высокий уровень информационного сигнала у данной антенны. К отрицательным моментам можно отнести низкое среднеквадратическое значение у сферической антенны, что связано с отсутствием фильтра верхних частот. Это является существенным фактором, повлиявшим на качество полученных измерений, потеря в точности составила примерно 4 раза (рис. 21).

Особо ещё раз обратим внимание, что числовые значения для средних и среднеквадратических значений соответствующих штыревой антенне выражены в отсчетах АЦП и здесь не учитывают разницу в 10дБ между каналами. Если возникает потребность привести их к однородному (для второго канала – со штыревой антенной) виду, необходимо их значения поделить на ~ 3.16 . для коэффициентов корреляции это процедура априори не требуется [27].

Регрессионный анализ – статистический аналитический метод, позволяющий вычислить предполагаемые отношения между зависимой переменной одной или несколькими независимыми переменными [28].

В основе метода линейной регрессии лежит аппроксимация стохастических данных методом МНК (метод наименьших квадратов [28]) функции вида: $Y = A + B X$. Аппроксимация заключается в минимизации функционала отклонений экспериментальных значений от прямой линии, задаваемой коэффициентами A, B [28].

На рисунке 21 изображены линии регрессии для двух случайно выбранных моментов времени. Коэффициент B с учетом коррекции данных в канале со сферической антенной, отвечающий за наклон линии регрессии равен 9.652 ± 0.407 и 11.529 ± 0.384 соответственно. Это говорит нам о том, что сигнал со штыревой антенны больше, чем со сферической антенны в указанное число раз. Значение постоянного коэффициента A равно -1440.532 ± 48.197 и -1428.273 ± 60.035 соответственно.

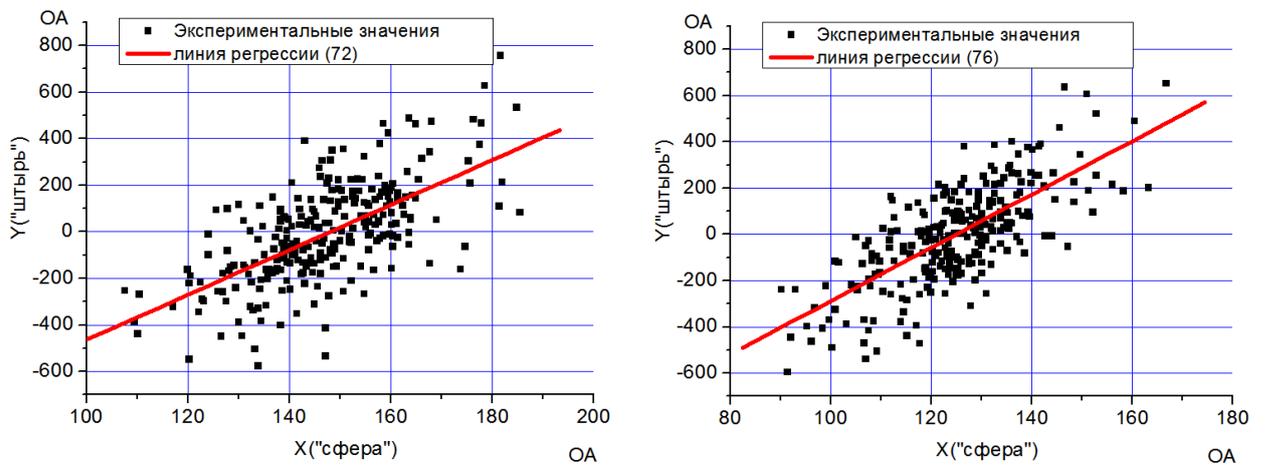


Рисунок 21 – Регрессионный анализ для двух реализаций (03:36LT и 03:48LT)

Размер антенны шттырь составляет 500 см диаметр сферической антенны – 23 см. Отношение апертур даёт значение 21.7. Однако полученная оценка отношений сигналов в двух каналов составила $9 \div 12$, что почти в 2 раза лучше ожиданий. Данный результат требует отдельного и пристального рассмотрения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе выполнения преддипломной практики получили следующие основные результаты.

Предложена конструкция и способ изготовления лабораторного макета сферической антенны для КНЧ измерений электрической компоненты ЭМ-фона; конструкция практически реализована в виде рабочего образца, антенна изготовлена разборной, в виде двух полусфер диаметром 226 мм; рассчитана ёмкость антенны, которую составил ~ 12.5 пФ.

Рабочий образец включён в пробную серию измерений совместно с усилителем УН-1 в составе измерительного вычислительного комплекса мониторинга физических полей окружающей среды кафедры космической физики и экологии РФФ ТГУ.

Получены предварительные результаты измерений электрической компоненты ЭМ-фона в полосе частот до 40 Гц в помещении №422 лабораторного корпуса СФТИ (11-го учебного корпуса ТГУ). Отмечено сходство низкочастотных составляющих в спектрах измерений, полученных на штыревую и сферическую антенны.

Проведен корреляционный и регрессионный анализ. Значения коэффициентов корреляции для двух произвольно выбранных моментов (03:36LT и 03:48LT) измерений составили 0.64 и 0.73. Для линейной регрессии коэффициент B с учетом коррекции данных в канале со сферической антенной, отвечающий за наклон линии регрессии равен 9.652 ± 0.407 и 11.529 ± 0.384 соответственно.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРА

1. Альперт Я. Л. Распространение радиоволн / Я. Л. Альперт, В. Л. Гинзбург, Е. Л. Фейнберг – «Государственное издательство технико–теоретической литературы» – 1953. – 883 с.
2. Гольдштейн Л. Д. Электромагнитные поля и волны / Л. Д. Гольдштейн, Н. В. Зернов – М.: «Советское радио» – 1971. – 664 с.
3. Schuman W.O. Uber die Strahlungslosen Eigenschwing ungeneiner leitenden Kugel die von Luftschicht und einer Ionospharenhulle umgeben ist. – Z. Naturforsch. 1952. – 7a. – S. 149–154.
4. Balsler M. Diurnal power variations of the earth-ionosphere cavity modes and their relationship to worldwide thunderstorm activity / M. Balsler, C.A. Wagner // J. Geophys.Res. – 1962. – V. 67. – P. 619–625.
5. Колесник А. Г. Шумановские резонансы / Колесник А. Г., Колесник С. А., Колмаков А. А., Шинкевич Б. М. // Изв. вузов. Физика. – 2003. – №2. – С. 69–73.
6. Kolesnik S. A. Resonances in the Earth-ionosphere cavity according to the data of magnetic observations in Tomsk / Kolesnik S. A., Kolmakov A. A., Nedosekov D. A. // Proc. SPIE 9292. – 20th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. – 92924V (November 25, 2014). – doi:10.1117/12.2075501.
7. Колмаков А. А. Вариации уровня электромагнитного фона крайне низкочастотного диапазона в Томске во время прохождения близких гроз / Колмаков А. А., Цюпа И. Ю. // Материалы конференции, тезисы докладов: В 1 т.Т.1 – Екатеринбург – Томск. АСФ России. 2018.– С. 404.
8. Колесник С. А. Вариации спектральных характеристик шумановских резонансов по данным многолетних магнитных измерений вТомске / Колесник С. А., Колмаков А. А., Недосеков Д. А., Шошин Е. Л. // Известия ВУЗов. Физика. – 2016. Т. 59, № 12-2. – С. 181–184.

9. Колесник А. Г. Шумановские резонансы / Колесник А. Г., Колесник С. А., Колмаков А. А., Шинкевич Б. М. // Изв. вузов. Физика. – 2003. – №2. – С. 69–73.
10. Колесник С.А., Колмаков А.А., Недосеков Д.А., Шошин Е.Л. Вариации спектральных характеристик шумановских резонансов по данным многолетних магнитных измерений в Томске // Изв. вузов. Физика. – 2016. Т.59. №12/2. С.181–184.
11. Nickolaenko A. P. Parameters of global thunderstorm activity deduced from the long-term Schumann resonance records / A. P. Nickolaenko [et al.]. – Journ. of Atmos. and Solar-Terr. Phys., 1998. – 60. – P. 387-399.
12. Betz H. D. Lightning: Principles, Instruments and Applications / Betz H.D., Schumann U, Laroche P. // Springer Science and Business Media B.V. 2009 P.
13. Collier B. Seasonal and diurnal variation of lightning activity over southern Africa and correlation with European whistler observations / B. Collier [et al.]. – Ann. Geophys. 2006. – 24. – P. 529–542.
14. Biswas K. R. Lightning over the Gulf Stream / K. R. Biswas, P. V. Hobbs. – Geophys. Res. Lett., 1990. – 17. – P. 941–943.
15. Клоков В. П. О характеристиках глобального распределения грозовой активности. – Метеорология и гидрология, 1961. – № 11. – С. 47-55.
16. Kandalgaonkar S. S. Diurnal variation of lightning activity over the Indian region / S. S. Kandalgaonkar. – Geophys. Res. Lett., 2003. – 30. - doi:10.1029/2003GL018005.
17. Christian H. J. Global frequency and distribution of lightning as observed from space by the Optical Transient Detector / H. J. Christian [et al.]. – J. Geophys. Res., 2003. –P. 108. – 4005, doi:10.1029/2002JD002347.
18. Константинова Д. А. Динамика грозовой активности над территорией Западной Сибири / Константинова Д. А., Горбатенко В. П. // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2016. – Т. 4, № 1.– С. 96–99.

19. Ogawa T. Observations of Natural ELF and VLF Electromagnetic Noises by Using Ball Antennas/ Toshio Ogawa, Yoshikazu Tanaka, Teruo Miura // J. Geomagnetism and Geol. – 1966. – vol 18, No.4.– P.443–453.
20. Колесник А. Г. Электромагнитная экология / Колесник А. Г., Колесник С. А., Побаченко С. В. Томск: Изд-во ТМЛ–Пресс, 2009. – 336 с.
21. Кашпровский В. Е. Определение местоположение гроз радиотехническими методами. М.: Наука, 1966. –248 с.
22. Брюнелли Б. Е. Физика ионосферы / Б. Е. Брюнелли, А. А. Намгаладзе.– М.: Наука. – 1988. – 528 с.
23. Побаченко С. В. Сопряженность параметров энцефалограммы мозга человека и электромагнитных полей шумановского резонатора по данным мониторинговых исследований / Побаченко С. В., Колесник А. Г., Бородин А. С., Калюжин В. В. // Биофизика. 2006. Т. 51. № 3. С. 534–538.
24. Изучение влияния низкочастотного электромагнитного поля на живые системы – URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=8708&ysclid=lbo44cmwin527175106> (дата обращения: 23.12.2022).
25. Учайкин Е.О. Кудин Д.В., Гвоздарев А.Ю. Разработка индукционного магнитометра на основе датчика ИНТ-1 и результаты мониторинга на магнитной станции Байгазан // Труды Международной Байкальской молодежной научной школы ученых. 2015. – С. 267-268.
26. Kolesnik S. A. Estimation of local thunderstorms at the level of extremely low-frequency electromagnetic background in Tomsk / Kolesnik S. A., Kolmakov A. A., Tsyupa I. Yu. // Proc. SPIE 10833, 24th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. – doi: 10.1117/12.2504456.
27. Бендат Дж., Пирсол А. Применения корреляционного и спектрального анализа – М.: Мир, 1983. – 312 с.
28. Пономарев Г. А. Статистические методы в радиофизике / Г. А. Пономарев, В. Н. Пономарева, В. П. Якубов. – Томск : Издательство Томского университета, 1989. – 235 с.

Отчет о проверке на заимствования №1



Автор: sent000@mail.ru / ID: 10450068

Проверяющий:

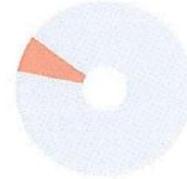
Отчет предоставлен сервисом «Антиплагиат» - <http://users.antiplagiat.ru>

ИНФОРМАЦИЯ О ДОКУМЕНТЕ

№ документа: 1
Начало загрузки: 26.01.2023 17:01:48
Длительность загрузки: 00:00:01
Имя исходного файла: вкр.txt
Название документа: вкр
Размер текста: 45 кБ
Символов в тексте: 45854
Слов в тексте: 5562
Число предложений: 478

ИНФОРМАЦИЯ ОБ ОТЧЕТЕ

Начало проверки: 26.01.2023 14:01:50
Длительность проверки: 00:00:00
Комментарии: не указано
Модули поиска: Интернет Free



СОВПАДЕНИЯ

7,39%

САМОЦИТИРОВАНИЯ

0%

ЦИТИРОВАНИЯ

0%

ОРИГИНАЛЬНОСТЬ

92,61%

Совпадения — доля всех найденных текстовых пересечений, за исключением тех, которые система отнесла к цитированиям, по отношению к общему объему документа.

Самоцитирования — доля фрагментов текста проверяемого документа, совпадающий или почти совпадающий с фрагментом текста источника, автором или соавтором которого является автор проверяемого документа, по отношению к общему объему документа.

Цитирования — доли текстовых пересечений, которые не являются авторскими, но система посчитала их использование корректным, по отношению к общему объему документа. Сюда относятся оформление по ГОСТу цитаты; общепотребительные выражения; фрагменты текста, найденные в источниках из коллекции нормативно-правовой документации.

Текстовое пересечение — фрагмент текста проверяемого документа, совпадающий или почти совпадающий с фрагментом текста источника.

Источник — документ, проиндексированный в системе и содержащийся в модуле поиска, по которому проводится проверка.

Оригинальность — доля фрагментов текста проверяемого документа, не обнаруженных ни в одном источнике, по которому шла проверка, по отношению к общему объему документа.

Совпадения, самоцитирования, цитирования и оригинальность являются отдельными показателями и в сумме дают 100% что соответствует всему тексту проверяемого документа.

Обращаем Ваше внимание, что система находит текстовые пересечения проверяемого документа с проиндексированными в системе текстовыми источниками. При этом системой является вспомогательным инструментом, определение корректности и правочности заимствований или цитирований, а также авторства текстовых фрагментов проверяемого документа остается в компетенции проверяющего.