

УДК: 629.785:523.31-852

## **Разработка кондуктометрического датчика и аппаратуры для регистрации слабых крайне низкочастотных магнитных полей**

**Агеев И.М.\*, Бубнова М.Д.\*\*, Рыбин Ю.М., Шишкин Г.Г.**

*Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), МАИ, Волоколамское шоссе, 4, Москва, А-80, ГСП-3, 125993, Россия*

*\* imageev@mail.ru*

*\*\*e-mail: ippika@bk.ru*

### **Аннотация**

Воздействие электромагнитного поля крайне низкой частоты естественного и техногенного происхождения создает помехи радиоаппаратуре авиационных и космических летательных аппаратов, что вызывает необходимость изучения этих явлений. В данной работе с помощью новых, оригинальных кондуктометрических датчиков были проведены измерения КНЧ магнитных полей с индукцией 0.77 мТл на частотах от 1 до 10 Гц. Наибольшее влияние магнитного поля на электрофизические свойства воды и, следовательно, параметры датчиков было обнаружено на частотах 6.5 Гц и 7.5 Гц, что соответствует как ионосферным возбуждениям, так и частотам шумановского резонатора.

**Ключевые слова:** информационно-телекоммуникационные технологии, датчики, электропроводность, магнитное поле.

## Введение

На надежность и качество работы электромагнитных каналов передачи информации, включая приборы и устройства, особенно авиационных и космических систем, в значительной степени влияет состояние солнечной активности. (Здесь не рассматривается важнейший вопрос о влиянии солнечной активности на состояние пилота, космонавта, человека-оператора). Так, например, при распространении радиоволн высокочастотного (ВЧ) диапазона (частоты от 1 МГц до 32 МГц) через ионосферный канал связи примерно в 6% случаев происходит их модуляция крайне низкой частотой (КНЧ) колебаниями (1 – 40 Гц) с длительностью более 6 минут [1]. Частота появления КНЧ модуляции изменяется с сезоном, максимум достигается летом (12%), минимум – зимой (3%). Эта модуляция проявляется в виде трех основных типов:

- монохроматическая модуляция ~ 5%;
- модуляция на кратных частотах ~ 32%;
- широкополосная модуляция ~ 17%;

Длительность непрерывной регистрации синхронной модуляции продолжается от нескольких секунд до трех часов. Причиной возникновения КНЧ-модуляции является появление спорадических слоев в ионосфере под пунктом приема. Эти процессы приводят к сбоям и помехам, искажающим информацию в

различных информационных системах, особенно на борту авиационных, ракетных и космических летательных аппаратов.

В данной работе представлены результаты измерения слабых низкочастотных (0.1 – 100 Гц) магнитных полей с помощью оригинального кондуктометрического датчика. В отличие от существующих измерителей магнитного поля [2,3] данный датчик в силу особенностей спектральных и электродинамических свойств воды обладает резонансной реакцией на переменные поля естественного и техногенного происхождения с близкими спектральными (частотными) характеристиками. Это обусловлено тем, что вся эволюция на Земле происходила при наличии волновых возбуждений в ионосфере и в полости шумановского резонатора с резонансными частотами в исследуемом диапазоне. Следовательно, такой датчик помимо влияния указанных полей на информационные и авиакосмические системы позволяет определять воздействия на живые организмы и их реакции, включая операторов указанных систем.

В основе данной работы лежит более детальное исследование тонкой частотной структуры обнаруженного ранее явления изменения электропроводных свойств воды под воздействием магнитных полей [4-6]. Исследования влияния на воду различных физических факторов сопряжено со значительными экспериментальными трудностями, поэтому для получения надежных данных были отработаны методики измерений и аппаратура, был выполнен большой объем

трудоемких измерений, что позволило достигнуть повторяемости измерений и набрать необходимую статистику.

Основная цель работы - разработка системы для регистрации низкочастотных колебаний магнитного поля (МП), связанных с ионосферными явлениями и влиянием солнечной активности на процессы в околоземном пространстве и на Земле, которая представляет значительный интерес для совершенствования информационно-телекоммуникационных технологий авиационных, ракетных и космических систем.

### **Требования к экспериментальной установке и методике измерений**

Известно, что электрическая проводимость воды крайне чувствительна к различного рода внешним физическим воздействиям и химическим загрязнениям, что приводит к нестабильности измеряемых величин. Поэтому на основе проведенной экспериментальной и расчетной работы к исследовательской установке и методике измерений были предъявлены следующие требования:

-необходимо измерять не только значение электропроводности воды, но и относительный температурный коэффициент электропроводности (ТКЭ), который менее подвержен химическим воздействиям и является основным регистрируемым параметром;

-магнитная система должна обеспечить доступ к кондуктометрической ячейке (датчику) для смены воды и размещения нагревателя;

-установка должна содержать два датчика, один из которых размещен в магнитном поле, а второй – контрольный, на достаточно большом расстоянии от магнитной системы. Такая методика должна исключить влияние побочных факторов, всегда присутствующих в эксперименте, и выделить интересующее нас воздействие магнитного поля;

-величина относительной погрешности более существенна по сравнению с абсолютной точностью измерений исследуемых параметров.

### **Описание экспериментальной установки**

Экспериментальная установка состоит из трех функциональных частей: блока кондуктометрических датчиков, магнитной системы и электронного блока регистрации данных. Функциональная схема установки приведена на рисунке 1.

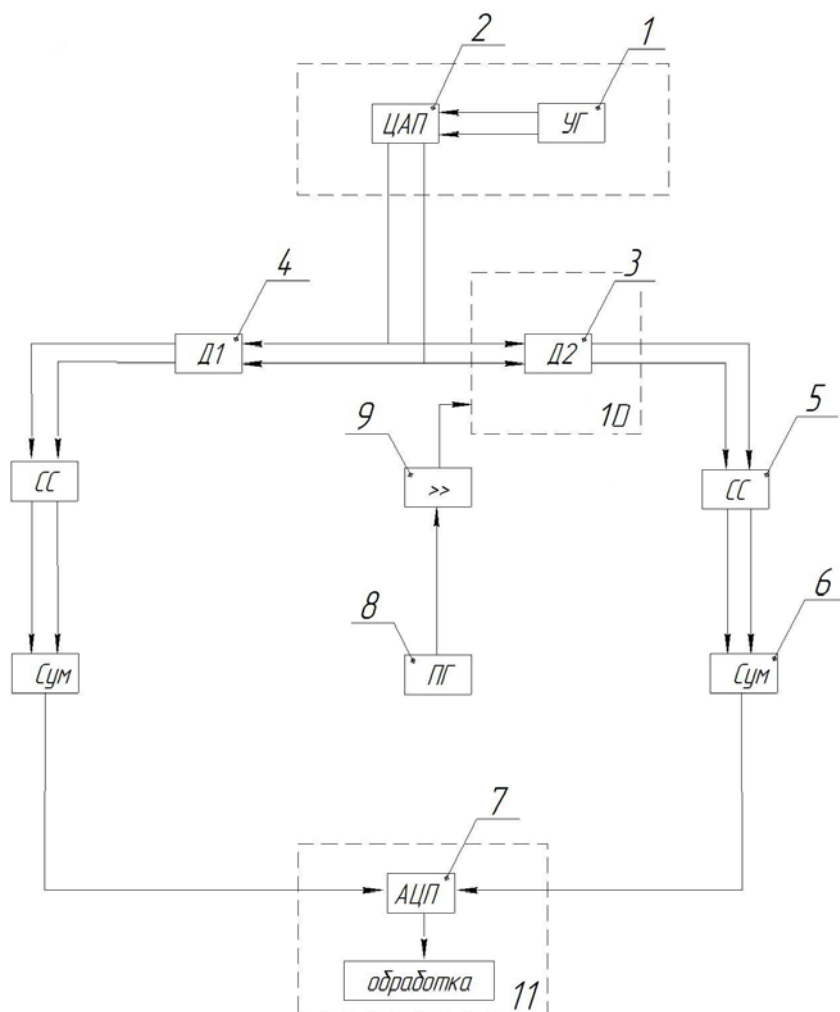


Рисунок 1. Блок-схема экспериментальной установки

В состав устройства входят: 1,8 - программные генераторы синусоидальных сигналов; 2 - ЦАП звуковой карты персонального компьютера (ПК); 3,4 – кондуктометрические датчики; 5 - схема согласования; 6 - сумматор; 7 - АЦП звуковой карты ПК; 9 – усилитель; 10 - магнитная система; 11 - персональный компьютер.

### Блок регистрации данных

На датчики 3 и 4 с ЦАП звуковой карты 2, создаваемое двухчастотным управляющим генератором 1, подается синусоидальное напряжение питания

датчика требуемой частоты и амплитуды. Выходными параметрами датчиков являются значения электропроводности и температуры воды. Каждое значение параметра поступает на соответствующую схему согласования 5, а затем на сумматоры 6, на выходах которых формируются сигналы, поступающие на обработку в АЦП.

АЦП звуковой карты 7 в процессе записи преобразуют показания датчиков в цифровую форму с разрешением по амплитуде 16 бит и с частотой дискретизации 4 кГц. Записанная информация сохраняется в виде файлов с расширением «txt». Длительность записи ограничивается только объемами сохраненных файлов, приемлемыми для дальнейшей обработки.

В процессе обработки сохраненных файлов, выполняемой блоком обработки, программа по специальным алгоритмам выполняет цифровую фильтрацию каждого показателя, амплитудное детектирование и шумоподавление, строит спектральные и временные характеристики, рассчитывает характерные параметры датчиков.

Ширина полосы частот каждого канала в данном устройстве составляет 50Гц, что вполне достаточно для передачи узкополосных сигналов проводимости и температуры и приемлемо по уровню шума в канале.

### **Магнитная система**

Магнитная система представляет собой катушки Гельмгольца диаметром 11 см, запитываемые через усилитель 9 от специального генератора 8 с удобным

интерфейсом управления, подключенного через LPT порт к компьютеру. Такое решение позволяет создавать переменные магнитные поля с индукцией 0.1-3 мТл с частотой от 0,01Гц до нескольких кГц и постоянные МП с индукцией 0.1-3 мТл.

Использование катушек, по сравнению с соленоидом, обусловлено следующими преимуществами:

- свободным доступом к измерительной ячейке;
- визуальным контролем за датчиками;
- хорошим теплоотводом за счет естественной циркуляции воздуха;
- однородность МП в пределах датчика.

Испытания магнитной системы показали, что неравномерность магнитного поля между катушками не хуже 0.3%.

### **Конструкция кондуктометрических датчиков**

Кондуктометрический датчик представляет собой в основании прямоугольную диэлектрическую ячейку размером  $4 \times 2 \text{ см}^2$ , глубиной 0,7см с вмонтированными танталовыми электродами. В центре ячейки с внешней стороны расположен терморезистор. Для передачи сигналов используется разъем USB. Разъем и ячейка размещены в медном корпусе. Во избежание попадания частиц пыли и грязи в датчики, что может существенно сказаться на результатах опытов, измерительные



ячейки закрываются прозрачными крышками из оргстекла. К корпусу датчика прикрепляется нагреватель, представляющий собой лампу накаливания мощностью 10 Вт, которая находится на высоте 4см от корпуса датчика.

### Методика измерений

При измерении электропроводности воды необходимо строго соблюдать постоянство параметров окружающей среды.

Методика проведения измерений включает нижеследующие процедуры.

1. В обе измерительные ячейки наливается  $1\text{см}^3$  дистиллированной воды с начальной удельной электропроводностью  $(2.5) \cdot 10^{-6} \text{ Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$  при температуре окружающей среды  $20^\circ\text{C}$ , при этом следует следить за тем, чтобы вода равномерно покрывала поверхность измерительной ячейки.

2. Через 6 минут после заполнения ячеек водой (экспериментально установленный период стабилизации температурного режима в датчике) производится нагрев, оптимальная продолжительность которого составляет 1 минуту. За это время вода в датчике нагревается примерно на  $1^\circ\text{C}$ .

Таким образом, регистрируются начальные условия состояния воды: температура, электропроводность и температурный коэффициент электропроводности воды. Эти данные являются основными показателями, относительно которых делается вывод о наличии воздействия магнитного поля на воду.

3. После нагрева, датчики охлаждаются естественным путем до температуры окружающей среды. Время полного охлаждения составляет не более 5 минут.

Для того чтобы удостовериться в правильности функционирования датчиков и в отсутствие влияния посторонних факторов обычно операции пп.2-3 повторялись не менее двух раз.

4. После описанных манипуляций включалось магнитное поле с заданной индукцией и частотой. Датчик, находящийся в магнитной системе, подвергался действию магнитного поля не менее 30 минут. Второй датчик размещается на расстоянии полутора метров от источника магнитного поля.

Во время облучения проводятся контрольные измерения состояния воды, что позволяет получить более точную информацию о процессе изменения электрофизических параметров воды в зависимости от времени облучения МП.

### **Экспериментальные результаты**

В результате серии пробных измерений было выявлено, что температурный коэффициент электропроводности в обоих датчиках колеблется в пределах 4% при строгом соблюдении методики измерений. Расхождение показаний между датчиками также составляет не более 4%.

Измерения показали, что слишком частый нагрев и охлаждение воды приводят к уменьшению температурного коэффициента, в связи с этим был

установлен оптимальный перерыв между измерениями, составляющий не менее 7 минут.

В результате проведенных опытов, было зарегистрировано уменьшение электропроводности и температурного коэффициента электропроводности воды под действием переменного магнитного поля. В этих экспериментах индукция магнитного поля составляла 0.77мТл, а частота варьировалась в диапазоне от 6 до 8 Гц.

Сказанное иллюстрируется рисунком 2, где показано изменение температурного коэффициента электропроводности воды -  $\alpha$  под действием магнитного поля с индукцией 0.77мТл с частотой 6.3Гц в течении 1.5 часов. Кривая 1 отражает показания датчика №1 подвергаемого облучению МП, кривая 2 – контрольного датчика №2. Вертикальными линиями выделено время включения и выключения МП.

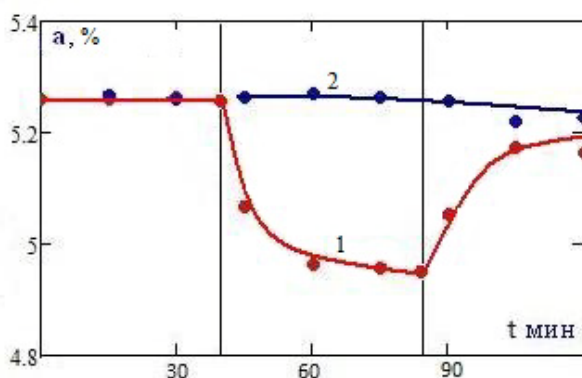


Рисунок 2. Изменение ТКЭ воды под действием МП

Из рисунка видно, что в датчике №2 (кривая 2) ТКЭ воды изменяется незначительно в течении 1.5 часов, а в датчике №1 (кривая 1) температурный коэффициент электропроводности воды сначала уменьшается после включения МП, а после выключения поля возвращается приблизительно в начальное положение. Характерное время изменения (время релаксации) составляет около 40 минут.

На рисунке 3 приведена зависимость изменения ТКЭ воды в процентах от начального значения ТКЭ, что на графике выражено величиной  $K$ , в функции частоты действующего магнитного поля. В этой серии измерений облучение производилось МП с индукцией 0.77 мТл в течение 30 минут.

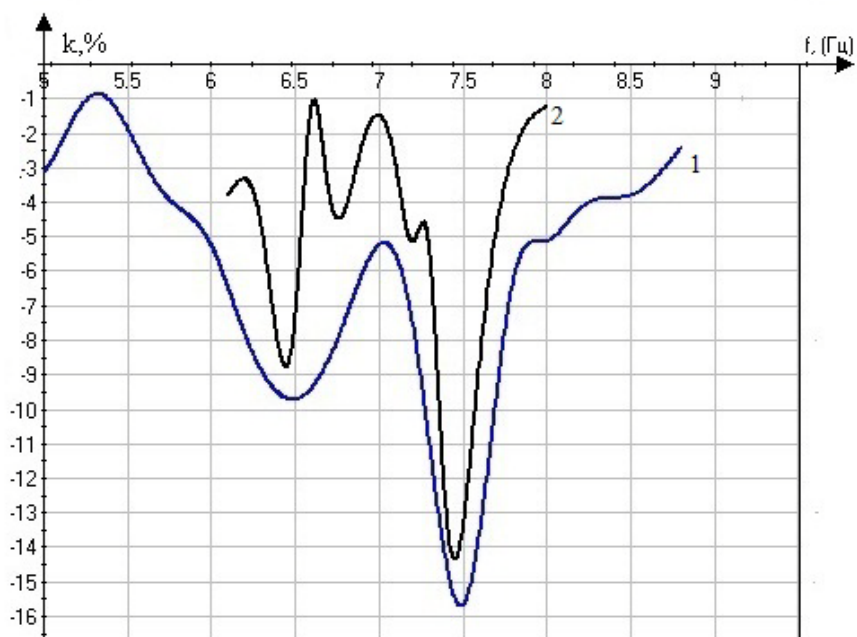


Рисунок 3. Зависимость изменения ТКЭ воды в функции частоты

Кривая 1 отражает результаты, приведенные в ранее опубликованной статье [6]. Кривая 2 представляет результаты, полученные после модернизации установки и измерительной аппаратуры и отработки методики измерений.

Таким образом, как видно из рисунка, описанная выше экспериментальная установка позволяет получать более качественные данные об изменениях свойств воды при действии на нее слабых переменных магнитных полей. Максимальный эффект наблюдается как и ранее на частотах около 6.5Гц и 7.5Гц.

Важным результатом представленной работы является подтверждение ранее обнаруженного явления изменения температурного коэффициента электропроводности воды под действием переменного магнитного поля, поскольку нестабильность результатов и сложность экспериментов с водой при отсутствии удовлетворительной гипотезы о механизме такого эффекта не позволяли достаточно уверенно исключить наличие артефакта.

### **Заключение**

Обнаруженное изменение параметров МП КНЧ диапазона хорошо коррелирует с ионосферными возбуждениями, обусловленными солнечным ветром и техногенными воздействиями, а также с частотами шумановского резонатора, образованного поверхностью Земли и нижней границей ионосферы.

Таким образом, проведенные исследования показывают, что кондуктометрические датчики являются тонким инструментом измерения

флуктуаций КНЧ магнитных полей и позволяют получать важную информацию для учета помеховой обстановки в информационно-телекоммуникационных технологиях авиационных, ракетных и космических систем, а также прогнозировать реакцию живых организмов на изменения магнитного поля в КНЧ диапазоне.

### **Библиографический список**

1. Пилипенко В.А. Резонансные эффекты ультранизкочастотных волновых полей в околоземном пространстве: Дисс... доктор физ.-мат. наук. - М.: 2006. -140 с.
2. Романченко Л.А. Улучшение характеристик датчиков измерения слабых магнитных полей для системы управления. Дисс... канд. техн. наук. – Саратов: 2007. - 129 с.
3. Сысоева С.А. Датчики магнитного поля. Новые применения и технологии измерения движения и тока // Электронный журнал «Компоненты и технологии», 2011, №3: [http://www.kit-e.ru/articles/sensor/2011\\_3\\_18.php](http://www.kit-e.ru/articles/sensor/2011_3_18.php)
4. Агеев И.М., Шишкин Г.Г., Еськин С.М., Рыбин Ю.М. Исследование воздействия слабого инфранизкочастотного магнитного поля на дистиллированную воду // Биомедицинская радиоэлектроника 2008, № 8-9, с. 75-79.
5. Ageev I.M., Shishkin G.G., Shishkin A.G., Yes'kin S.M., Litvinov V.N. Resonant influence of the Weak Extremely Low Frequency and Constant Magnetic Fields on Distilled Water. XXIX General Assembly of International Union of Radio Science (U.R.S.I), 7-16 August 2008, Chicago, USA, com. K.

6. Агеев И.М., Шишкин Г.Г., Еськин С.М. Изучение влияния низкочастотного магнитного поля на воду // Электронный журнал «Труды МАИ», 2007, выпуск №28: <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=33992> (дата публикации 10.07.2007).