



Министерство образования Российской Федерации
Удмуртский государственный университет
Физический факультет
Кафедра Биомедфизики

Коновалова Нина Александровна

**СВЧ – МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ
АКТИВИРОВАННЫХ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ**

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

**Научный руководитель:
зав. кафедрой, к. ф.- м. н.
Широносов В. Г.**

Ижевск, 2002

Содержание.

Введение.....	3
Глава 1. Обзор литературы.	
1. 1. Общие вопросы активации жидких сред.....	9
1. 2. Структурные особенности воды.....	18
1. 3. СВЧ методы исследования водных растворов.....	27
Глава 2. Экспериментальная часть.	
2. 1. Разработка измерительного стенда.....	33
2. 2. Опыты по регистрации ЭХА жидкостей.....	37
2. 3. Опыты по регистрации бесконтактно активированных жидкостей.....	41
Глава 3. Обсуждение результатов экспериментов и возможные области применения методов измерений.	
3. 1. Обсуждение результатов экспериментов.....	50
3. 2. Возможности использования методов измерений.....	52
Заключение.....	53
Литература.....	55
Приложение.....	59
I. Методические указания к лабораторной работе «СВЧ -техника».....	10 с.
II. Методические указания к лабораторной работе «СВЧ -методы анализа жидкостей».....	12 с.

Введение.

Проблемы воды и особенности ее воздействия на различные биологические структуры и процессы уже давно привлекают внимание со стороны физиков, химиков и биологов. Интерес к этой проблеме определяется прежде всего особым значением воды в биологических системах, где вода наряду с белками и нуклеиновыми кислотами выступает в качестве их обязательной составляющей, а также непременного участника многих биологических процессов.

Уникальная роль воды проявляется не только в том, что вода служит специфической средой для прохождения биологических реакций, но и в том, что она непосредственно воздействует на формирование и стабилизацию нативной структуры макромолекул биополимеров, биомембран и различных более сложных образований [1 - 4]. Предполагается также, что вода непосредственно влияет и на эффективность биологических реакций, причем результирующее изменение конформации белков и свободной энергии системы связано с одновременным изменением структуры воды [2, 3]. Существенная роль состояния воды в биологических процессах еще ранее обсуждалась физиологами растений [5, 6]. В литературе рассматриваются и другие биологические эффекты, которые относят к изменению состояния воды при различных способах ее обработки и т. д.

Целый ряд физико-химических воздействий оказывает существенное влияние на структурно-динамические свойства жидкостей. Параметры этих свойств обладают высокой чувствительностью как к воздействию электромагнитных (ЭМ) полей в широком диапазоне частот: от квазипостоянных до сверхвысокочастотных (СВЧ), так и к суточным, сезонным колебаниям солнечной активности [6, 7].

Обратим внимание на аспект поляризации диэлектриков в переменном электрическом поле. Уже в ранних работах по диэлектрометрии, электро- и радиотехнике пришли к выводу о необходимости учета поглощения волн диэлектриками. Для этого в расчетах представляют диэлектрическую проницаемость в виде комплексной переменной:

$$\epsilon = \epsilon' - i\epsilon''$$

где ϵ' и ϵ'' – действительная и мнимая части диэлектрической проницаемости, связанные друг с другом интегральными соотношениями Крамеса – Кронига. Вещественная часть комплексной диэлектрической проницаемости ϵ' определяет интенсивность поляризации среды, а ϵ'' характеризует поглощение электромагнитных волн диэлектриком [8, 9].

Начало развития современных методов диэлектрометрии положили работы немецкого физика-оптика Пауля Друде (1896 г.). Измерения электрических свойств диэлектриков проводились им в кювете с исследуемой жидкостью, через которую проходили провода, присоединенные к генератору

электромагнитных колебаний. Диэлектрическая проницаемость рассчитывалась по отношению длин волн в пустой и заполненной кюветах. В инженерно-физической литературе этот способ именовался как “первый метод Друде”. Некоторое время он подвергался модификациям, но затем был оставлен и снова возрожден в 50-х годах XX века в связи с развитием техники СВЧ [8].

В науке уже давно известен эффект электрохимической активации (ЭХА) водных растворов. Впервые термин "электрохимическая активация" появился в публикациях ташкентской группы исследователей с 1972 г. [10]. Ими изучалось вызванное электрохимическим катодным или анодным (униполярным) воздействием метастабильное состояние жидкостей (водных растворов солей, глинистых суспензий). Активированное состояние воды и растворов проявляется аномальной реакционной способностью ЭХА растворов в окислительно-восстановительных реакциях, в их биологической активности и коррелирует с измеряемыми параметрами, такими, как показатель кислотности среды (рН), окислительно-восстановительный потенциал (ОВП), поверхностное натяжение, диэлектрическая проницаемость, электропроводность среды и другие.

Сложность обоснования процессов, протекающих во время ЭХА, привело к появления многочисленных теорий: теория фундаментального поля, синхронно осциллирующих диполей, резонансной раскачки молекул в жидкостях и т. д. [11, 12]. Применение популярных терминов “живая” и

“мертвая” вода тоже не вносит ясности в изучение вопроса об ЭХА. Поэтому необходимо использование новых физических методов для изучения ЭХА водных растворов, в частности феномена бесконтактной активации жидкостей (БАЖ) [13 - 15].

Предположим, что в процессе ЭХА происходит не только изменение ионного состава жидкостей вблизи поверхностей электродов, но и возникает ряд аномальных эффектов, связанных с резким увеличением внутренней потенциальной энергии раствора, в результате чего появляется возбужденная, неравновесная среда. Это не может не отразиться на диэлектрических свойствах вещества. Поскольку частоты вращательных движений молекул воды в значительной степени приходятся на область сверх- и крайне высоких частот (СВЧ и КВЧ), поэтому наиболее чувствительным методом регистрации изменений структуры жидкости является метод, в котором для измерения диэлектрических свойств материала используются ЭМ волны СВЧ [16].

На кафедре Биомедфизики (у студентов обучающихся по специальности физика, специализации биофизика) программой Госстандарта предусмотрено проведение лекций и практических занятий по курсам «Радиофизика и электроника» и «Вода и водные растворы» (ДС. 02). В связи с этим, была поставлена задача по созданию лабораторных работ по темам: «СВЧ техника» и «СВЧ - методы анализа жидкостей». Первая работа предполагает ознакомление с принципом работы элементов СВЧ техники и с особенностями

распространения ЭМ волн данного диапазона [см. Приложение I]. Вторая – позволит проведение анализа диэлектрических свойств жидкостей [см. Приложение II].

Наиболее распространенными исследованиями активированных жидкостей в электрохимии являются методы измерения окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) и кислотности среды (рН), но они являются инерционными и не позволяют регистрировать динамику микрокластерной структуры жидкостей. Поэтому еще в 1997 г. на I -ом международном симпозиуме «Электрохимическая активация в медицине, с/х, промышленности» говорилось о необходимости применения более тонких физических методов исследования активированных водных растворов. Такими методами могли бы стать методы изучения спектров поглощения и испускания ЭХА растворов для регистрации изменений структуры вещества [11]. После этого появился ряд работ по изучению ЭХА растворов в диапазоне КВЧ [17 - 19].

На кафедре Биомедфизики ведутся активные работы по изучению явления активации жидкостей (контактной и бесконтактной), поэтому следующей целью ставилось освоение метода регистрации ЭХА жидкостей в СВЧ диапазоне ЭМ волн. Измерение характеристик материалов СВЧ методами дает возможность определять свойства и структурные особенности вещества, определяя его диэлектрическую проницаемость. Так же этот метод позволяет

проводить исследования в реальном масштабе времени, что дает возможность регистрировать динамику структуры жидкостей.

Данная дипломная работа посвящена разработке метода регистрации электрохимических активированных водных растворов, в частности БАЖ, в СВЧ диапазоне ЭМ волн.

Цель работы:

- 1) Создание лабораторной работы “СВЧ - техника” по курсу “Радиофизика и электроника”;
- 2) Разработка лабораторной работы “СВЧ - методы анализа жидкостей”;
- 3) Регистрация эффектов ЭХА, БАЖ в СВЧ диапазоне.

Глава 1. Обзор литературы.

1. 1. Общие вопросы активации жидких сред.

Технология электрохимической активации – это новая область прикладной электрохимии и физики, имеющая, тем не менее, свои традиции и историю. В центре проблем, связанных с теорией и практическим применением ЭХА, - вопросы, так или иначе связанные с водой и водными растворами.

Проблема получения воды с заранее заданными свойствами возникла давно. Человечество столетиями разрабатывало технологии изменения состава водных сред (технологических, лекарственных и т.д.): воду очищали, обеззараживали, подвергали термической обработке, замораживали. Еще Чижевский А. Л. предположил, "...что соответствующим физическим воздействием можно извратить структуру воды без изменения ее химического состава и без изменения обычных физических условий ее существования. Изменение свойств воды, не влекущее за собой ни изменения обычных условий ее существования (температура, давление и т. д.), ни малейшего изменения ее химического состава, называется активированием. Те свойства воды, которые зависят от ее структуры, легко нарушаются воздействием космических сил".

Повседневный опыт свидетельствовал, что обычная пресная питьевая вода, не имеющая каких-либо особенностей по химическому составу, обладала различными показателями биологической и каталитической активности в зависимости от источника ее получения.

Одним из наиболее значимых факторов регулирования параметров окислительно-восстановительных реакций, протекающих в любых жидкостях средах, является ОВП этой среды. Так этот параметр внутренней среды организма человека, измеренный платиновым электродом относительно хлорсеребряного электрода сравнения, в норме всегда меньше нуля, т.е. имеет отрицательные значения, которые обычно находятся в пределах от -100 до -200 мВ. ОВП питьевой воды, измеренный таким же способом, практически всегда больше нуля и обычно находится в пределах от +100 до +400 мВ. Это справедливо практически для всех типов питьевой воды, которые получаются после очистки в установках обратного осмоса и большинства разнообразных больших и малых водоочистительных систем [20].

Указанные различия ОВП внутренней среды организма человека и питьевой воды означают, что активность электронов в организме человека намного выше, чем активность электронов в питьевой воде. Когда обычная питьевая вода проникает в ткани человеческого или иного организма, она отнимает электроны от клеток и тканей, которые состоят из воды на 80 – 90 %. В результате этого биологические структуры организма – клеточные мембранны, органоиды клеток и другие элементы – подвергаются окислительному разрушению, и как следствие организм изнашивается, стареет, жизненно-важные органы теряют свою функцию. Поэтому возникает вопрос о возможности получения жидкостей с заданным значением ОВП, наиболее оптимальным для биологической структуры организма.

В середине 70-х годов прошлого столетия решение было найдено группой ташкентских ученых при изучении явления ЭХА водных растворов. Оказалось, что в жидкостях, подвергнутых процессу ЭХА, происходит изменение параметров ОВП и pH и проявляется при этом их лечебное действие [10, 12, 20 - 21]. В наше время электрохимическая активация водных растворов – это технологии получения воды и водных сред с заранее заданными окислительно-восстановительными свойствами. ЭХА жидкости нашли широкое применение в медицине, биологии, сельском хозяйстве, как растворы с высокой степенью биологической активности. Так же их успешно используют в очистке питьевой воды, отмечая при этом высокую природоохранный степень технологий ЭХА.

Предположение, что химически чистая вода (вещество H_2O) может как-то менять свои характеристики при воздействиях, не связанных с добавлением в нее вещественных агентов, продолжает вызывать недоверие по крайней мере по двум причинам:

- 1) отсутствие до настоящего времени общепризнанной модели, объясняющей механизм безреагентного изменения свойств воды;
- 2) сложность или даже невозможность воспроизведения результатов ряда опытов при исследованиях в рамках данного направления.

Постепенно накапливались факты в пользу того, что обычная вода, подвергнутая омагничиванию, озвучиванию, взбалтыванию и прочим внешним

воздействиям, приобретает новые качества, влияющие на кинетику происходящих в ней химических реакций. Замечено, что при выше перечисленных воздействиях изменения свойств воды проявляют одинаковую, качественную направленность. Это дало повод именовать такую воду активированной [12, 21].

Сущность явления электрохимической активации состоит в том, что разбавленные растворы минеральных солей (к ним относится и обычная питьевая вода) в результате анодной или катодной (униполярной) обработки как в диафрагменных, так и бездиафрагменных электрохимических реакторах переходят в метастабильное состояние. Последнее характеризуется аномальной физико-химической активностью, которая постепенно убывает во времени (релаксирует) [20, 22].

Исходя из представлений о воде как гетерофазной ион-кристаллической системе под термином “активация” следует понимать процесс изменения структурно физических, энергетических и магнитоэлектрических свойств гетерофазного связанного состояния вещества, где под гетерофазой понимается метастабильная фаза с двумерной организацией структуры [17]. Исследование процессов активации жидкофазных систем, в результате которых изменяются физико-химические свойства сред, имеет актуальное значение для разработки механизмов управления процессами активации.

Известные способы получения электрохимически активированных растворов можно условно разделить на две группы - контактные и бесконтактные.

Наиболее распространенным способом активации водных растворов является контактный – ЭХА как с диафрагмой, так и без нее [20, 23 - 25].

Вода, обработанная только в анодной или только в катодной камере диафрагменного электрохимического реактора, называется соответственно анолитом и католитом. Жидкость после обработки переходит в метастабильное состояние с повышенной реакционной способностью. Такое состояние обусловлено не только наличием высокоактивных соединений, но также длительно существующими структурно-энергетическими возбуждениями [20].

В отличие от традиционных дезинфицирующих и стерилизующих растворов, таких как формальдегид, хлорамин, гипохлорит натрия, соединения тяжелых металлов и других синтетических биоцидных веществ, действующие компоненты анолита не являются веществами ксенобиотиками и не оказывают вредного воздействия на организм человека и теплокровных животных. Эти вещества представляют собой неорганические короткоживущие пероксидные соединения, которые обычно синтезируются в организме человека и теплокровных животных специализированными электрохимически активными ферментами клеток и участвуют в процессах нейтрализации вредных и чужеродных веществ в организме [22].

После использования по назначению католит и анолит теряют свою активность и приближаются по свойствам к исходной воде. От нее растворы отличает только наличие небольшого количества гидроксидов в католите, сохраняющих его слабощелочную реакцию и кислот в анолите, обусловливающих его некоторую кислотность.

В анолите, также как и в католите, нарушена система водородных связей. Молекулы воды в объеме и в окружении сильно заряженных оксидантных ионов имеют высокую подвижность. Это придает анолиту биологически активные свойства: он имеет повышенную проникающую способность через биологические мембранны, оказывает ингибирующее влияние на ферментные системы, обладает выраженным электроноакцепторными свойствами, является катализатором – переносчиком кислорода. Причиной ингибирующего действия анолита являются сильные окислители, в том числе гипохлориты [20, 26].

На катоде основной реакцией является восстановление воды с выделением газообразного водорода и образованием гидроксид-ионов



Кроме того, что на катоде происходит много реакций с образованием высокоактивных неустойчивых соединений (HO^- , HO^{2-} , HO^{+2} , $\text{H}^{+3}\text{O}^{2-}$, H^2O^{2-}), придающих католиту восстановительные свойства и высокую адсорбционно-химическую активность [20].

Высокое отрицательное значение ОВП католита свидетельствует о его восстановительной электронодонорной активности, о структурных

преобразованиях воды в окружении ионов и в свободном объеме. Он усиливает действие поверхностно-активных веществ во много раз. Католит является биологически активной средой, легко проникает через биологические мембранны, стимулирует ферментные системы. Обладая высокой антиоксидантной активностью, католит предотвращает перекисное окисление липидов клеточных мембран, не оказывая вредного влияния на организм в отличие от традиционных химических антиоксидантов [20].

Менее распространенным является способ бесконтактной активации жидких сред (БАЖ). Впервые этот эффект экспериментально обнаружил Бахир В. М. в 1992 г. в диафрагменном электролизере. Позднее эффект был получен и в электролизере без диафрагмы [14 - 15]. С тех пор ведутся постоянные работы по выяснению основных закономерностей при протекании БАЖ. Исходя из современных представлений авторы [11, 13 - 15] предложили собственное объяснение феномена БАЖ, в основу которого легла идея резонансной раскачки молекул активируемой жидкости.

Причины аномального отклонения физико-химических свойств водных растворов, после униполярного электрохимического воздействия или БАЖ, от состояния равновесия могут быть следующими:

1. Образование химически неустойчивых соединений в процессе ЭХА.
2. Изменение структурных свойств раствора (чисел гидратации ионов, взаиморасположения ионов и молекул в гидратных структурах, размеров

гидратных оболочек, определяющих сферы ближней и дальней гидратации ионов и др.).

3. Аномалии физико-химических свойств раствора, связанные с изменением его газового состава после ЭХА.
4. Тепловые флуктуации, связанные с диссипацией энергии при переходе упомянутых форм химических и физических возбуждений в равновесное состояние [20, с. 72].

Для активированной воды характерно наличие активированных, возбужденных молекул. Это молекулы, у которых изменилась не химическая природа, а физическое состояние, при котором молекула обладает повышенной кинетической (поступательной, вращательной, колебательной) или избыточной потенциальной энергией, обусловленной возбужденным состоянием электронов в атомах (ионах) молекулы. Иногда активация молекулы сводится к перегруппировке в ней атомов, в результате чего возникает особая модификация нормальной молекулы [20, с. 75].

Говоря об изменениях, происходящих в активированных растворах, следует всегда указывать параметр или свойство, по которому они определяются. Некоторые из них (например, свойство излучать рентгеновские лучи) исчезают через доли секунд, другие могут сохраняться месяцы и годы. Связано это с разной природой структурных центров [21, с. 112]. Поэтому столь важна разработка методов, которые способны с большой точностью и

быстрой отражать процессы ЭХА, не внося собственных изменений в жидкости.

1. 2. Структурные особенности воды.

Молекула воды проста – H_2O , но из-за высокого дипольного момента и способности образовывать четыре водородные связи: две в качестве донора, а две – акцептора протона, вода как жидкость уникальна. Неповторимые свойства воды объясняются способностью её молекул за счет водородных связей создавать молекулярные ассоциаты, которые могут иметь различную структуру и устойчивость. Одновременно между ассоциатами и внутри них имеются полости, где блуждают отдельные молекулы воды. Эти молекулы постоянно обмениваются электронами с молекулами, входящими в ассоциаты. Среднее время жизни молекулы воды в ассоциатах составляет $\tau = 10^{-9} \text{ с}$ [27].

В стандартных условиях, согласно статическим расчетам [28], около 30 % всех молекул воды находится в виде отдельных молекул, 40 % входит в состав стабилизированных ассоциатов с определенной структурой, называемых кластерами, а 30 % приходится на случайные ассоциаты, не имеющие определенной структуры.

Совокупность случайных ассоциатов и отдельных молекул воды, т.е. 60 %, составляет “деструктурированную” воду, а кластеры, стабилизированные ассоциаты с определенной структурой, – “структурированную” воду [29, с. 127]. В “структурированной” воде продолжительность жизни молекул H_2O больше среднего ($\tau > 10^{-9} \text{ с}$). Для “деструктурированной” воды этот показатель меньше ($\tau < 10^{-9} \text{ с}$). Наряду с обменом молекулами воды, кластеры и, особенно, ассоциаты могут при тепловом движении распадаться частично

или полностью и образовываться вновь, причем скорости этих процессов различны. Таким образом, обычная чистая вода является открытой, динамичной, структурно-сложной (ассоциативно-кластерной) системой.

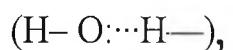
Все возможные состояния молекул H_2O в жидкой воде энергетически практически не различимы, так как имеющиеся отличия не превышают величину энергии теплового (брюновского) движения молекул и их ассоциатов в системе. В тоже время для описания свойств “деструктурированной” воды, из-за её большой неупорядоченности в перемещении и взаимодействии молекул, существенен энтропийный фактор, а для “структурной” воды, вследствие наличия определенной организованности в перемещении и взаимодействии молекул, важна ее структура. Таким образом, при описании свойств воды в жидким и парообразном состоянии необходимо учитывать такие функции состояния как энтропия, а для описания “структурной” воды крайне необходимо знать её структурные свойства [29, с. 76].

С термодинамической точки зрения, образование упорядоченной структуры воды вызывает уменьшение энтропии ($\Delta S < 0$), что невыгодно, так как приводит к увеличению полного термодинамического потенциала (свободная энергия) $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$ за счет положительного члена ($-T\Delta S > 0$). Однако это увеличение с избытком компенсируется образованием четырех водородных связей, приводящим к снижению энергии (энталпия) $\Delta H < 0$.

Существенно, что при этом $|\Delta H| > |\Delta S|$. Таким образом, в целом изменение свободной энергии при самопроизвольном образовании микрокластерной структуры воды отрицательно. Это и определяет энергетическую выгодность процесса [30].

Обратим внимание на структуру кластеров. Элементарной их ячейкой являются тетраэдры, содержащие связанные между собой водородными связями четыре (простой тетраэдр) или пять молекул H_2O (объемно центрированный тетраэдр). При этом у молекул воды в простых тетраэдрах сохраняется способность образовывать водородные связи. За счет них простые тетраэдры могут объединяться между собой вершинами, ребрами или гранями, образуя различные кластеры со сложной структурой, которые могут содержать полости. [18, 31 - 32].

В водных кластерах, за счет взаимодействия между ковалентными и водородными связями между атомом кислорода и атомами водорода



как показывают квантохимические расчеты [33], может происходить миграция протона по эстафетному механизму, приводящая к делокализации протона в пределах кластера, что способствует стабилизации последнего. Поэтому укрупнение кластеров будет повышать их устойчивость, но не бесконечно, а только до каких-то критических размеров.

По имеющимся сведениям [18, 31, 34] такие кластеры, в зависимости от их структуры, могут содержать от 50 до 1000 молекул воды. Крупные кластеры

при тепловом движении могут распадаться на более мелкие, но которые, выступая зародышами, по-видимому, могут самопроизвольно достраиваться в более крупные, воспроизводя структуру материнского кластера. Кроме кластеров с критическими размерами в системе всегда присутствуют и более мелкие кластеры, время жизни которых меньше. Различие в продолжительности жизни водных кластеров обеспечивает воде и системам на её основе как короткую, так и достаточно долговременную память. Основу памяти воды составляет её способность сохранять структурно-информационные свойства во времени.

Растворение любых веществ в воде изменяет её структурные свойства. Вода – уникальный растворитель, что объясняется следующими её особенностями [32]:

- высокой диэлектрической проницаемостью;
- способностью проявлять и протонодонорные, и протоноакцепторные свойства, из-за чего вода – амфолит;
- способствовать и электронодонорным, и электроноакцепторным процессам;
- наличие внутренних пустот в жидкой воде из-за ажурности её структуры.

Наряду со структурными свойствами для воды, по мнению авторов [27], характерны следующие особенности. Вследствие высокой полярности молекул воды и их чрезвычайной подвижности между различными её состояниями

жидкая и парообразная вода является источником сверх слабого, а иногда слабого электромагнитного излучения, переменного по интенсивности, направлению и частоте. В качестве осциллятора излучения воды выступает движение её молекул между возможными состояниями: одиночные молекулы, случайные ассоциаты и кластеры. Наименее хаотичное электромагнитное излучение создает “структурированная” вода, т.е. мерцающие кластеры [31].

В настоящее время это излучение регистрируется и записывается, однако, без указания реального его источника. Авторы [27] считают, что источниками этого излучения являются мерцающие водные кластеры. Характеристики данного излучения зависят, прежде всего, от структуры и размеров кластеров “структурированной” воды.

Наличие электромагнитного излучения у воды должно приводить к индуцированию соответствующего электромагнитного поля в окружающих слоях жидкой и парообразной воды, что может привести в них к возникновению и способствовать росту водных кластеров со структурно-информационными свойствами, аналогичными источнику индукции. Считается, что это явление лежит в основе структурирования воды при контакте с нерастворимыми материалами, при приготовлении и действии гомеопатических средств, включая метод Фоля и биорезонансной гомеопатии. В первом случае источником индукции является структурированный слой воды на поверхности материала, во втором – гидратная оболочка используемого лекарственного средства [27].

На структурные свойства чистой воды и различных водных систем влияют: фазовые переходы воды, температура и давление, особенно при их сверхкритических значениях, акустические колебания, электрические, магнитные и электромагнитные поля с определенными характеристиками, а также астрогелиогеофизические факторы [6, 7].

Талая вода с температурой менее 12° С содержит повышенное количество кластеров с льдообразной структурой. Она является мощным биологическим стимулятором для живых систем [35]. Полезность её действия можно объяснить тем, что она лучше усваивается организмами, так как её кластеры, сформированные из водных тетраэдров, являются поставщиками готовых тетраэдров для построения и обновления гидратных оболочек вокруг биосубстратов. Следовательно, организм в случае талой воды получает необходимую для его жизнедеятельности воду с нужными структурно-информационными свойствами. Методом КВЧ и СВЧ радиоспектроскопии, который чувствителен к структурным свойствам воды, спектрально регистрируется отличие талой и обычной воды.[19]

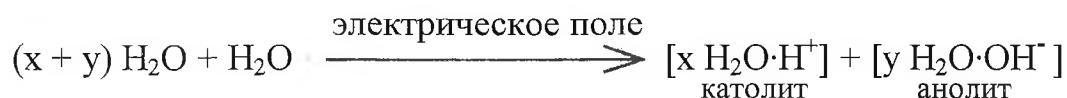
Вода под действием магнитного поля изменяет свои структурные свойства. Это проявляется в изменении её растворяющей способности, спектральных характеристик КВЧ и СВЧ радиоспектроскопии, повышении щелочности и биологической активности [34]. Увеличение pH омагниченной воды, по гипотезе авторов [27], связано с образованием в этих условиях протонсодержащих клатратов, т.е. кластеров с протонофильной структурой

[$x \text{H}_2\text{O}\cdot\text{H}^+$], удерживающих достаточноочно прочно протон, что повышает концентрацию свободных анионов OH^- . В отсутствие магнитного поля возникшие протоносодержащие клатраты разрушаются за счет теплового движения.

Вода, полученная нагреванием в особых условиях до 400°C и называемая сверхкритической, после охлаждения имеет в течение 12 часов повышенную растворяющую способность и более низкое значение $\text{pH} = 5,5$ (исходная вода имела $\text{pH} = 6,5$) [35]. Последний факт, согласно гипотезе [27], связан с образованием в сверхкритических условиях гидроксосодержащих клатратов, т.е. кластеров с гидрофильной структурой [$y \text{H}_2\text{O}\cdot\text{OH}^-$], связывающих достаточноочно прочно анион OH^- , что приводит к повышению концентрации свободных катионов водорода в сверхкритической воде. После разрушения гидроксосодержащих клатратов в результате теплового движения вода приобретает прежние свойства.

Как известно, под действием электрического поля и при наличии разделяющей мембранны из обычной воды возникает вода, имеющая щелочную среду ($\text{pH} > 8$) и называемая католитом, а также вода - анолит, среда которой имеет ($\text{pH} < 6$) [20]. Обычно это объясняется электролизом воды. Однако ни щелочная, ни кислая вода, приготовленные добавлением расчетных количеств щелочи или кислоты, не проявляют соответствующей биологической активности. Вероятно, электрическое поле способствует возникновению

протонсодержащих клатратов (католит) и гидроксосодержащих кратратов (анолит) [27]:



Спектральные характеристики католита и анолита в КВЧ радиоспектроскопии резко отличаются между собой и от обычной воды [19].

При смешивании этих вод или при длительном стоянии возникает вода с обычными характеристиками. Таким образом, водные кратраты, содержащие H^+ или OH^- , возникающие в обычной воде в сверхкритических условиях или под действием магнитного или электрического поля достаточно устойчивы даже при прекращении внешнего воздействия. Кратраты, несущие положительный или отрицательный заряд, фиксируются масс-спектрометрией в парах чистой воды [36]. Перечисленные примеры наглядно показывают, что изменение структурных свойств воды влияет на её протонодонорную и протоноакцепторную способность.

Приведенные факты однозначно свидетельствуют о том, что при изучении свойств воды необходимо учитывать не только обычные параметры, но и показатели её структурированности, которые еще не используются, вследствие недостаточной изученности этой проблемы и отсутствия экспериментальных методов их определения. Такими показателями, прежде всего, могли бы явиться [27]:

- степень структурированности воды (ω) равная

$$\omega = \frac{\text{число молей H}_2\text{O в "структурированной" воде}}{\text{число молей H}_2\text{O в "деструктурированной" воде}}$$

Для частиц с положительной гидратацией $\omega > 1$, а для частиц с отрицательной гидратацией $\omega < 1$;

- геометрические параметры, характеризующие размеры и форму водных кластеров;
- кинетические параметры водных кластеров, хотя бы на уровне периодов их полураспада;
- параметры электромагнитного излучения водных кластеров.

Учет показателей структурированности воды, кроме известных её показателей, чрезвычайно важен для контроля за качеством питьевой воды и, особенно, лечебных и минеральных вод, а также различных водных систем организмов, так как их структурно информационные свойства естественно будут сильно влиять на биологические и физиологические функции живых систем. В связи с этим становятся принципиально важными вопросы исследования спектров испускания и поглощения жидких сред, активированных с помощью ЭХА, БАЖ.

Суммируя все сказанное о свойствах чистой воды, водных растворов различных веществ, следует еще раз подчеркнуть, что жидкая вода открытая, структурно-сложная, динамичная система, для описания поведения которой крайне необходимо учитывать её структурно-информационные свойства.

1. 3 СВЧ методы исследования водных растворов.

Развитие молекулярной биологии и медицины, познание процессов жизнедеятельности всех видов организмов немыслимы без изучения молекулярной природы жидкостей, играющих в этих процессах огромную роль. Так, например, на воду долгое время смотрели как на более или менее нейтральную среду, заполняющую пространство между структурными элементами в клетке. Но теперь постепенно выясняется, что в живых клетках вода приобретает особую структуру и играет важную роль в процессах распространения возбужденных состояний молекул.

В системах, содержащих большое число молекул, межмолекулярное поле представляет собой результат сложных взаимодействий большого числа частиц. Для выяснения законов, связывающих свойства жидкостей со свойствами образующих их молекул, необходимо располагать сведениями о силах, действующих между молекулами жидкости [37].

Если разность энергии ΔU различных взаимных ориентаций соседних молекул больше kT (т. е. средней энергии тепловых движений молекул), то в жидкости должны наблюдаться некоторые преимущественные взаимные ориентации близко расположенных друг к другу молекул – ближняя ориентационная упорядоченность молекул. Появление в жидкости некоторых преимущественных ориентаций соседних молекул связано с тенденцией к возникновению так называемых ассоциированных групп, т. е. относительно устойчивых молекулярных образований, имеющих определенное внутреннее

строение. Если же $\Delta U \ll kT$, то распределение взаимных ориентаций молекул будет хаотическим, и ближняя ориентационная упорядоченность будет отсутствовать [37].

Для изучения этих вопросов необходимо знать молекулярную структуру жидкостей и растворов. Необходимы методы, открывающие новые возможности исследований. К числу таких методов, позволяющих измерять диэлектрическую проницаемость и диэлектрические потери полярных жидкостей, относятся радиофизические методы с использованием ЭМ волн СВЧ диапазона. Методы сверхвысоких частот оказались полезными для электролитических растворов, так как в них ток проводимости много меньше тока смешения. Следовательно, с использованием теории дисперсии такие измерения дадут, вероятно, более точную оценку диэлектрической проницаемости, чем оценка, получаемая на низких частотах [38].

Согласно рекомендациям Международного консультативного комитета по радио к диапазону СВЧ относятся сантиметровые волны от 1 до 10 см (3 до 30 ГГц). Однако на практике принято распространять СВЧ диапазон на более широкий участок электромагнитного спектра, включающий метровые, деци- и миллиметровые волны [9].

Нижняя граница СВЧ определилась переходом к схемам на пассивных элементах с заданными параметрами, возможностью передачи энергии с помощью полых труб (волноводов) и конструкциями активных устройств (усилителей, генераторов и др.) с непосредственным энергетическим обменом

между электронным потоком и электромагнитным полем колебательной системы.

Верхняя граница СВЧ определилась близостью к тепловому излучению (длинными инфракрасными волнами), где требуются существенно иные подходы к генерированию, усилению и передаче электромагнитной энергии.

Радиоволны СВЧ-диапазона обладают рядом важных физических особенностей:

1. Квазиоптический характер распространения, т. е. распространение волн на расстояние прямой видимости с тем отличием от оптического диапазона, что, начиная с сантиметровых волн и длиннее, за счет изменения диэлектрической проницаемости воздуха с высотой и связанной с этим рефракцией волн (искривление траектории) возможна передача электромагнитной энергии на расстояния, значительно превышающие прямую видимость.
2. Малый уровень активных внешних помех, поскольку суммарное значение спектральной плотности мощности (мощности в полосе 1 Гц) всех видов этих помех уменьшается с увеличением частоты. В связи с этим минимальный уровень принимаемых сигналов в диапазоне СВЧ практически определяется сравнительно небольшими помехами, возникающими внутри самих приемных устройств и обусловленными тепловыми колебаниями во входных цепях и шумами усилительных каскадов приемников.

3. Затухание в атмосфере волн коротковолновой части СВЧ диапазона (короче 3 см) за счет поглощения водяными парами и кислородом, а также рассеяние взвешенными в атмосфере частицами, например каплями воды [9].

Особенности распространения привело к развитию радиотехники для ЭМ волн СВЧ диапазона. Появились новые передающие линии: коаксиальные – для передачи энергии колебаний в диапазоне метровых и дециметровых волн ($\nu = 30 - 3000$ МГц), волноводные – в диапазоне сантиметровых и миллиметровых волн ($\nu > 3$ ГГц) [см. Приложение I]. Данные разработки расширили пути в исследовании структуры и свойств веществ. Так в сверхвысокочастотном диапазоне электромагнитных волн оказалось возможным косвенное измерение диэлектрической проницаемости и тангенса угла потерь (в силу того, что эти параметры не могут быть непосредственно измерены).

В микроволновой области длина волны электромагнитного поля сравнима с размерами образца и, как следствие, возникают граничные эффекты, а между передатчиком и приемником образуются стоячие волны. Но с использованием волноводов все граничные и паразитные эффекты автоматически устраняются, и можно с большой точностью исследовать диэлектрик [39, с. 114]. Так же, уменьшение поперечного сечения образца диэлектрика приводит к дальнейшему упрощению измерений.

Существует множество измерительных схем в сверхвысокочастотном диапазоне электромагнитных волн для исследования свойств диэлектриков: с

использованием волноводных либо коаксиальных линий передач, резонаторные (отличающиеся высокой добротностью, но работающие в узком интервале частот). Выбор метода измерений во многом зависит от частоты ЭМ волны и типа диэлектрика. Так использование коаксиальной линии не целесообразно при измерении на частотах свыше 3 ГГц ввиду соизмеримости длины распространяющейся волны и расстояния между проводниками. Применение зондов в основном рассчитано для жидкостей, поскольку использование их для газов порождает значительные трудности, связанные с необходимостью уплотнения вывода [40].

В диапазоне частот от 8 до 10 ГГц, применяемом в нашей работе, наиболее оптимальным оказался выбор метода измерений, основанный на использовании волноводной линии передач. Данный метод позволяет определять коэффициенты ослабления и стоячей волны при поглощении и отражении ЭМ волны, распространяющейся в волноводе с образцом исследуемого вещества. Измерения коэффициентов проводятся с помощью детектора – индикатора в волноводе, в котором размещается в соответствии со структурной схемой исследуемая жидкость.

Для упрощения измерений была выбрана ЭМ волна типа TE_{01} , поддерживаемая прямоугольным волноводом. Индексы 0 и 1 указывают число полуволн или узлов, которыми обладает интерферирующая волна в поперечном сечении прямоугольного волновода (Рис. 1). Исходя из вида распространяющейся ЭМ волны ячейка с исследуемой жидкостью

устанавливается по центру волновода, что соответствует максимуму электрической составляющей электромагнитного поля и минимуму магнитной [39].

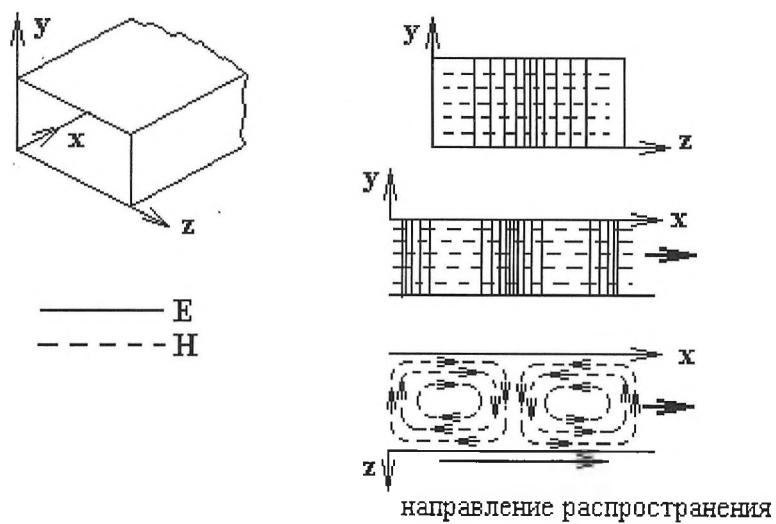


Рис. 1. Вид волны TE_{01} в прямоугольном волноводе.

Глава 2. Экспериментальная часть.

2. 1. Разработка измерительного стенда.

Для ознакомления с принципом работы устройства техники СВЧ была разработана лабораторная работа «СВЧ - техника» [см. Приложение I]. Данная работа утверждена методической комиссией кафедры «Биомедфизики» физического факультета и выполняется студентами 4 - ого курса на практических занятиях по «Радиофизике и электронике».

В дальнейшем была поставлена задача создания лабораторной работы по анализу диэлектрических свойств водных растворов в СВЧ диапазоне. Для этих целей разработаны измерительный комплекс и методические указания по теме «СВЧ - методы анализа жидкостей» [см. Приложение II]. В основе измерительного стенда в данной работе используется стандартный измеритель коэффициента стоячей волны (КСВН) и ослабления типа Я2Р - 67, генератор качающейся частоты ГКЧ - 60 и двухкоординатный самопищий прибор Н - 307. Дополнительно сконструирован волноводный тракт с измерительной ячейкой, в которой устанавливается кварцевая пробирка с исследуемой жидкостью. Применение кварца обусловлено малым поглощением энергии ЭМ волны СВЧ в данном материале [38].

Выбор линейных размеров измерительной ячейки для жидкости (соотношение объем - поверхности пробирки, устанавливаемой в ячейке, к длине ЭМ волны) и ее расположение в измерительной схеме позволит

использовать приближение электростатики, что в значительной степени упростит дальнейшие расчеты.

Надежность передачи, приема и обработки сигналов, несущих информацию в радиоэлектронной аппаратуре, зависит от степени ее помехозащищенности. Для снижения уровня помех применяются следующие методы: экранирование, фильтрация, заземление и др. В работе «СВЧ - методы анализа жидкостей» применяется метод экранирования для защиты измерительной ячейки от внешних помех и потерь при излучении. В качестве экрана используется запредельный волновод, который смонтирован в месте размещения ячейки с исследуемой жидкостью в измерительном волноводном тракте (Рис. 2) [9, 41].

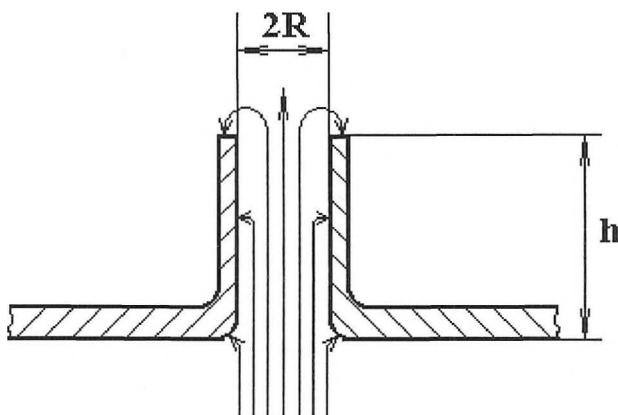


Рис. 2. Повышение эффективности экранирования с помощью запредельного волновода.

Критерием распространения волн по любому волноводу является неравенство

$$\lambda < (\lambda_{kp}) \text{ низшего типа волны}$$

При $\lambda > \lambda_{\text{кр}}$ наступает режим отсечки, и распространения волн не происходит. Очевидно, что использовать запредельный волновод для целей обычной передачи энергии нельзя, но он достаточно эффективен для экранирования. Если выбрать размеры сечения волновода таким образом, чтобы при данной частоте обеспечивалось соотношение $\lambda >> \lambda_{\text{кр}}$, то затухание в волноводе будет определяться только величиной $\lambda_{\text{кр}}$. Она же, в свою очередь, зависит от геометрических размеров и формы волноводов [41].

В случае волны типа E_{01} (именно этот тип волны применялся в работе) в круглом запредельном волноводе ослабление рассчитывается по формуле [41]

$$L \approx \frac{20,8}{R} \text{ (дБ / ед. длины)} \quad (1)$$

При диаметре трубы, используемой в нашей работе, $d = 7$ мм применив формулу (1), ослабление, вносимое запредельным волноводом, составляет 30 дБ/см. Следовательно, уже при длине трубы $l = 3$ см излучением из нее можно практически пренебречь. Если отверстие того же диаметра сделать непосредственно в стенке волновода, то потери были бы заметными.

Для графической записи регистрируемых параметров – коэффициентов ослабления и КСВН – сигнал с индикатора панорамного подается на самопищий прибор Н-307. В блок развертки этого прибора по оси ординат встроена мостовая компенсационная схема, работающая от стабилизированного источника питания напряжением $U = 1,5$ В. Данные изменения были внесены с целью увеличения запаса по чувствительности и

плавного регулирования усиления сигнала, поступающего с блока индикатора КСВН панорамного на самопишущий прибор.

Рассмотрим принцип регистрации диэлектрических свойств жидкостей в измерительном стенде (Рис. 3).

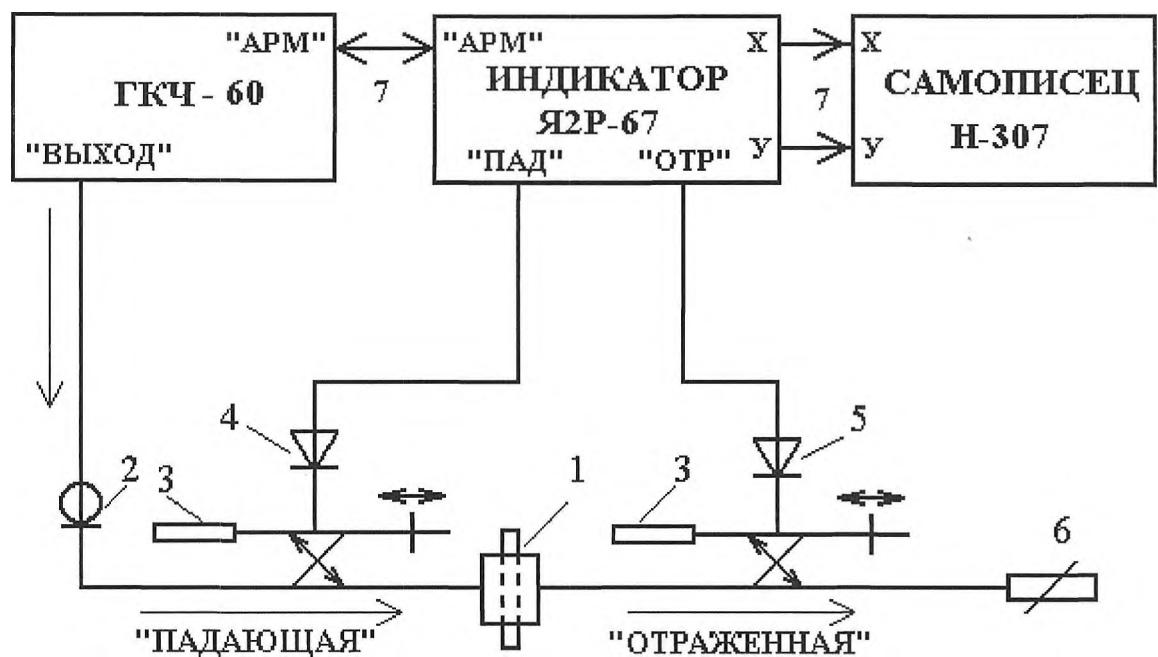


Рис. 3. Блок-схема измерительного стенда.

1 - Измеряемый объект, 2 - Переход с ГКЧ на волноводный тракт, 3 - Поглотитель, 4 - Детектор направленный “Падающая”, 5 - Детектор направленный “Отраженная”, 6 - Согласованная нагрузка, 7 - Соединительные кабели

С генератора качающейся частоты ЭМ волна СВЧ поступает через коаксиально-волноводный переход в измерительный волноводный тракт. Сигналы, пропорциональные падающей и прошедшей мощностям, снимаются с детекторных головок, встроенных во вторичных трактах направленных ответвителей. Уровень напряжения на выходе детекторной головки падающей волны поддерживается постоянным системой автоматической регулировки мощности (АРМ) генератора. В индикаторе осуществляется усиление

напряжения сигналов падающей и прошедшей волн на частоте модуляции СВЧ сигнала 100 кГц, а так же их деление и визуальная индикация на экране ЭЛТ. Узкополосное усиление сигналов на частоте 100 кГц с дальнейшим синхронным детектированием в блоке индикатора позволяет увеличить чувствительность при регистрации на самопишущем приборе. При этом происходит увеличение соотношения сигнал/шум.

Инструкция по непосредственному измерению параметров подробно приведена в методических указаниях к лабораторной работе “СВЧ методы анализа жидкостей” [см. Приложение II].

Продолжением работ на измерительном стенде стали опыты по регистрации изменений диэлектрических свойств водных растворов, подвергнутых процессам контактной и бесконтактной электрохимической активации.

2. 2. Опыты по регистрации ЭХА жидкостей.

В работе проводили измерения диэлектрических свойств ЭХА растворов с различными показателями параметров ОВП, подготовленных по технологиям [42]. Используя кварц в качестве материала емкостей для воды и водных растворов, мы сочли необходимым проведение дополнительных опытов для исключения ошибок при измерениях ослабления ЭМ волны СВЧ. Как выяснилось из эксперимента, ослаблением, вносимым кварцевой пробиркой,

можно пренебречь, т. к. отличия в пределах допустимых погрешностей между ячейкой без пробирки и ячейкой с пустой пробиркой не обнаружено (Рис. 4). Для сравнения приведена кривая коэффициента ослабления дистиллированной воды (ДВ).

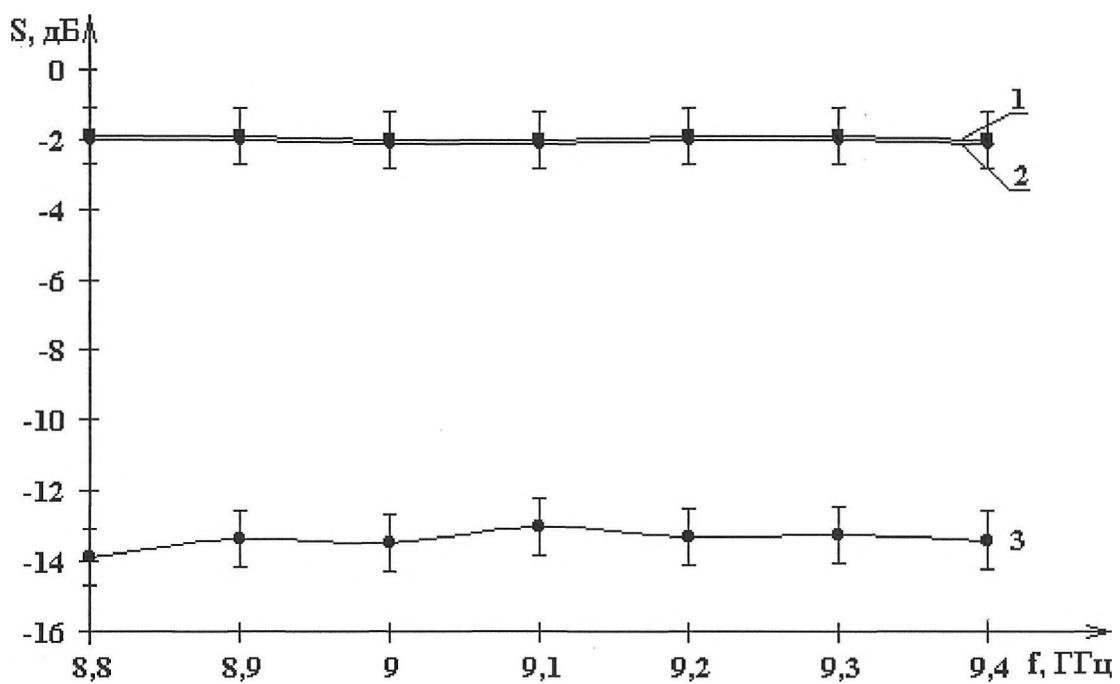


Рис. 4. Зависимость коэффициента ослабления от частоты.
1 - ячейка без пробирки, 2 - ячейка с пустой пробиркой, 3 - пробирка с ДВ.

Опыт № 1:

В опыте исследовалось четыре типа жидкостей: дистиллированная вода (ДВ), вода водопроводная (ВВ) из городской сети водоснабжения, анолит и католит, приготовленные на учебно-методическом стенде [43] из водопроводной воды при скорости протока воды 12 л/ч без добавления раствора NaCl. Ток и напряжение активации были равны $I_{акт} = 0,1 \text{ A}$, $U_{акт} = 2 \text{ В}$. Результаты измерения параметра ОВП (Eh) приведены в таблице № 1. Графики

зависимости коэффициента ослабления от частоты для каждого типа жидкости приведены на Рис. 5.

Таблица № 1.

Жидкость	ДВ	ВВ	Анолит	Католит
Eh, мВ	270 ± 5	303 ± 5	98 ± 5	-93 ± 5

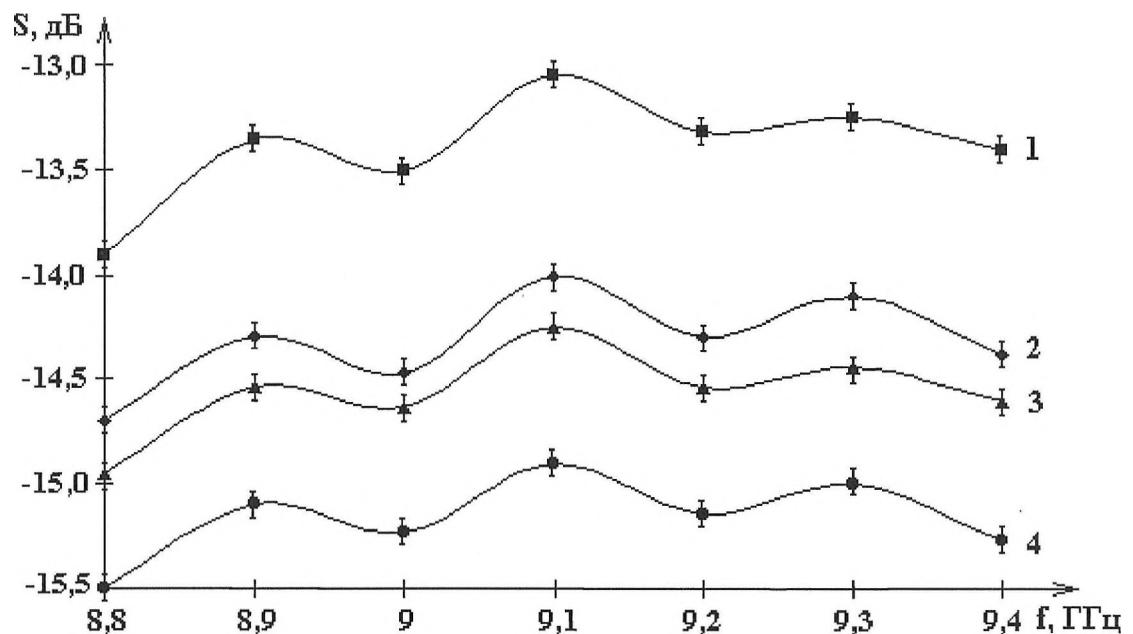


Рис. 5. Зависимость коэффициента ослабления от частоты.
1 - ДВ, 2 - ВВ, 3 - католит, 4 - анолит.

Опыт № 2:

В опыте использовалось четыре типа жидкостей: дистиллированная вода (ДВ), физиологический раствор хлорида натрия 0,9 % (ФР), анолит и католит, приготовленные на учебно-методическом стенде [43] из водопроводной воды при скорости протока воды 20 л/ч с добавлением насыщенного раствора NaCl. Ток активации был равен $I_{акт} = 10$ А. Результаты измерения параметра ОВП

приведены в таблице № 2. Графики зависимости коэффициента ослабления от частоты для каждого типа жидкости приведены на Рис. 6.

Таблица № 2.

Жидкость	ДВ	ФР	Анолит	Католит
Eh, мВ	282 ± 5	303 ± 5	873 ± 5	-234 ± 5

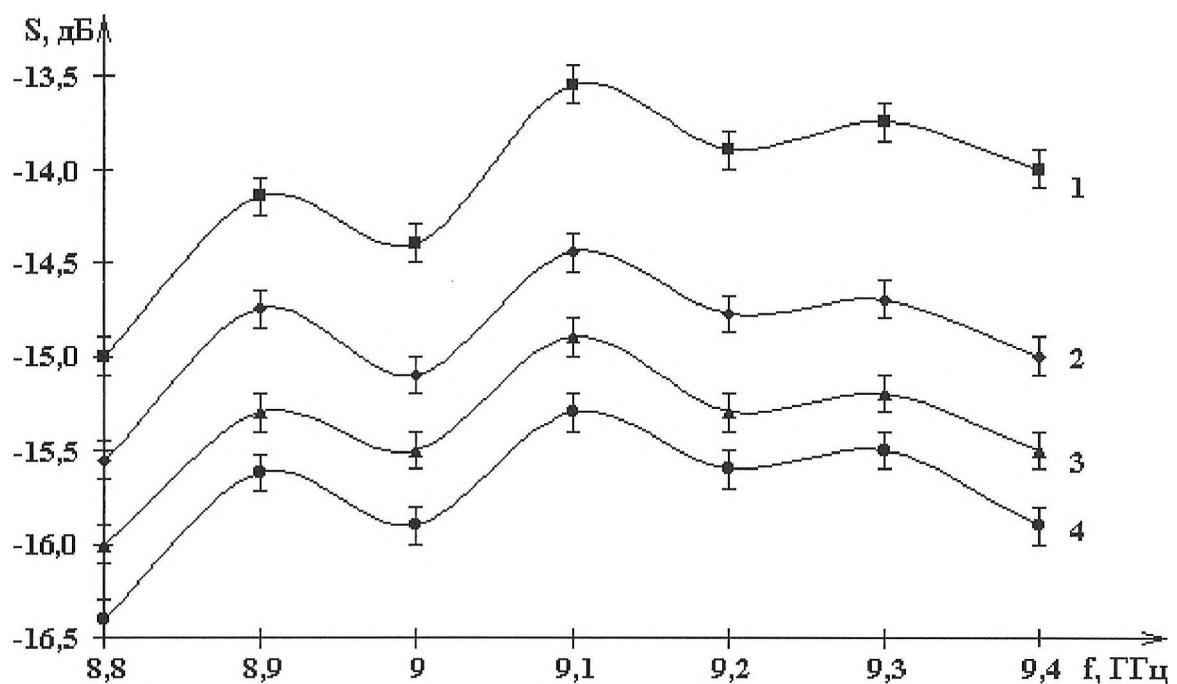


Рис. 6. Зависимость коэффициента ослабления от частоты для:
1 - ДВ, 2 - ФР, 3 - католит, 4 - анолит.

Опыт № 3:

В ходе опыта проводили регистрацию коэффициентов ослабления анолита и католита в день приготовления растворов и на четвертые сутки после. Анолит и католит приготовлены с помощью четырех проточных электрохимических модулей (ПЭМ) из водопроводной воды с добавлением насыщенного раствора NaCl. Ток и напряжение активации были равны

$I_{акт} = 5 \text{ А}$, $U_{акт} = 35 \text{ В}$. Концентрация активного хлора в анолите составила $C_{ax} = 71 \text{ мг/л}$. Графики зависимости коэффициента ослабления от частоты для каждого типа жидкости приведены на Рис. 7. Измерения параметра ОВП приведены в таблице № 3.

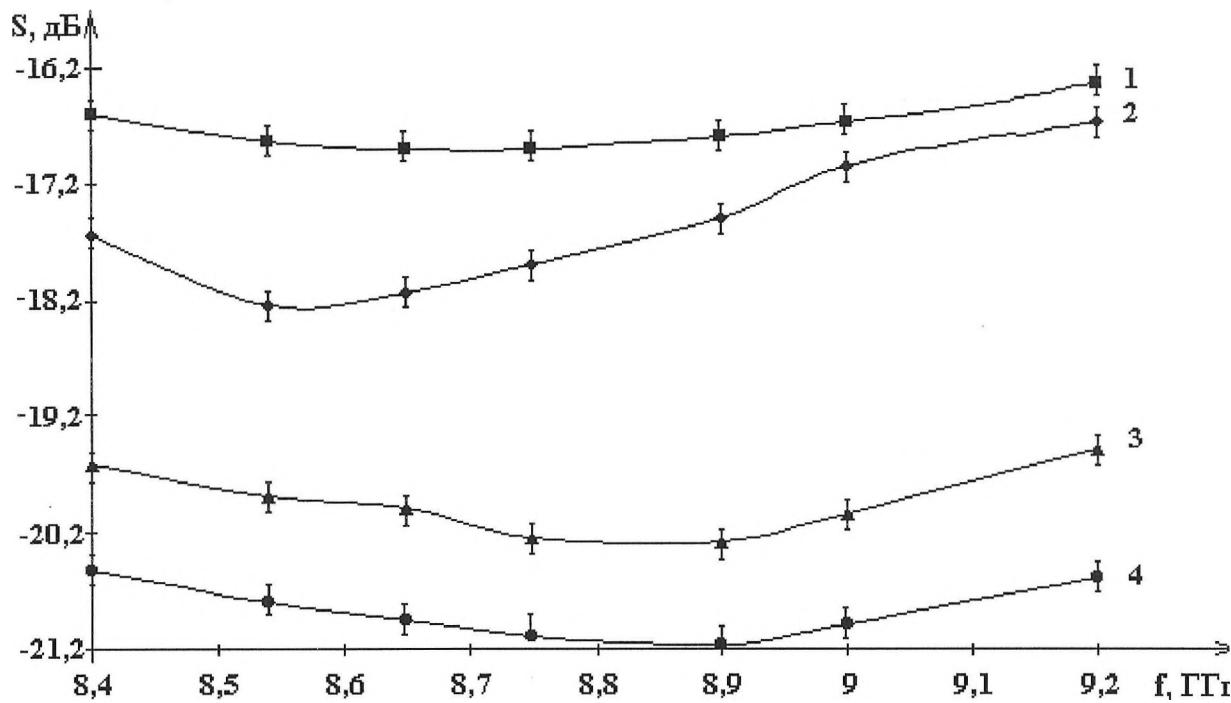


Рис. 7. Зависимость коэффициента ослабления от частоты.
 1 (2) - католит в день приготовления (через четверо суток), 4 (3) - анолит в день приготовления (через четверо суток)

Таблица № 3.

Жидкость	Католит (1)	Католит (2)	Анолит (3)	Анолит (4)
$Eh, \text{ мВ}$	-240 ± 5	210 ± 5	873 ± 5	356 ± 5

2. 3. Опыты по регистрации бесконтактно активированных жидкостей.

Опыты по БАЖ проводились в электрохимических активаторах без диафрагмы (Рис. 8-а, 8-б), в которые помещали герметичные тонкостенные

полиэтиленовые емкости для БАЖ (толщина пленки ~ 0.1 мм), заполняемые исследуемой жидкостью (по аналогии с работами [13, 14]). Электролизеры наполняли водопроводной водой $V = 1$ л с добавлением поваренной соли NaCl 9 г/л. После проведения БАЖ измерялся параметр ОВП (Eh) растворов (платиновым электродом с хлорсеребряным электродом сравнения). По окончании экспозиции в электрохимическом активаторе БАЖ помещали в тонкостенные кварцевые пробирки, которые устанавливались в ячейке измерительного стенда в соответствии с конструктивной схемой. Далее проводили измерение коэффициента ослабления для данного водного раствора.

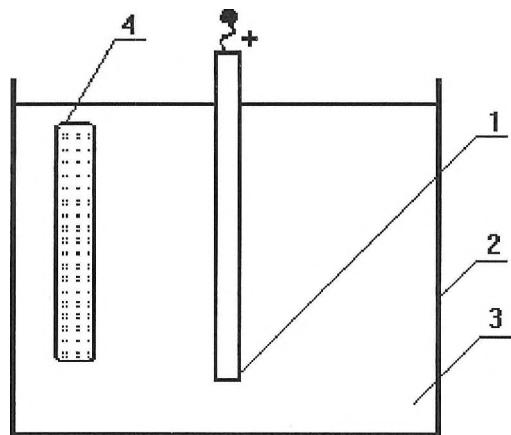


Рис. 8-а. Схема электрохимического активатора.
1 - анод, 2 - катод, 3 - ЭХА раствор, 4 - емкость с БАЖ.

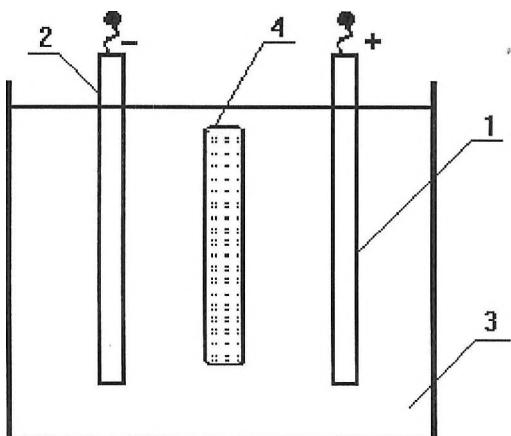


Рис. 8-б. Схема электрохимического активатора.
1 - анод, 2 - катод, 3 - ЭХА раствор, 4 - емкость с БАЖ.

Опыт № 1:

Герметичные тонкостенные полиэтиленовые емкости (толщина пленки $d = 0,16$ мм) для БАЖ с дистиллированной водой и физиологическим раствором (0,9 % раствор NaCl в дистиллированной воде) $V = 50$ мл помещались в рабочую камеру электрохимического активатора (Рис. 8-а). Электролизер представляет собой цилиндрический сосуд с высотой $h = 667$ мм и диаметром $D = 150,4$ мм. В электролизере коаксиально расположены: анод (с покрытием из оксида рутения) длиной $L = 100$ мм и диаметром $D = 8$ мм, стенки электролизера выполняют роль катода. Ток и напряжение активации были равны $I_{\text{акт}} = 1$ А, $U_{\text{акт}} = 10$ В. Активация велась в течении 30 минут. Зависимость коэффициента ослабления от частоты отображены на графике (Рис. 9). Значения ОВП (Eh) приведены в таблице № 4.

Таблица № 4.

Жидкость	ДВА	ДВК	ФРА	ФРК
Eh , мВ	-330 ± 5	200 ± 5	-420 ± 5	237 ± 5

ДВА - дистиллированная вода активированная, ДВК - дистиллированная вода контрольная, ФРА - физ. раствор активированный, ФРК - физ. раствор контрольный.

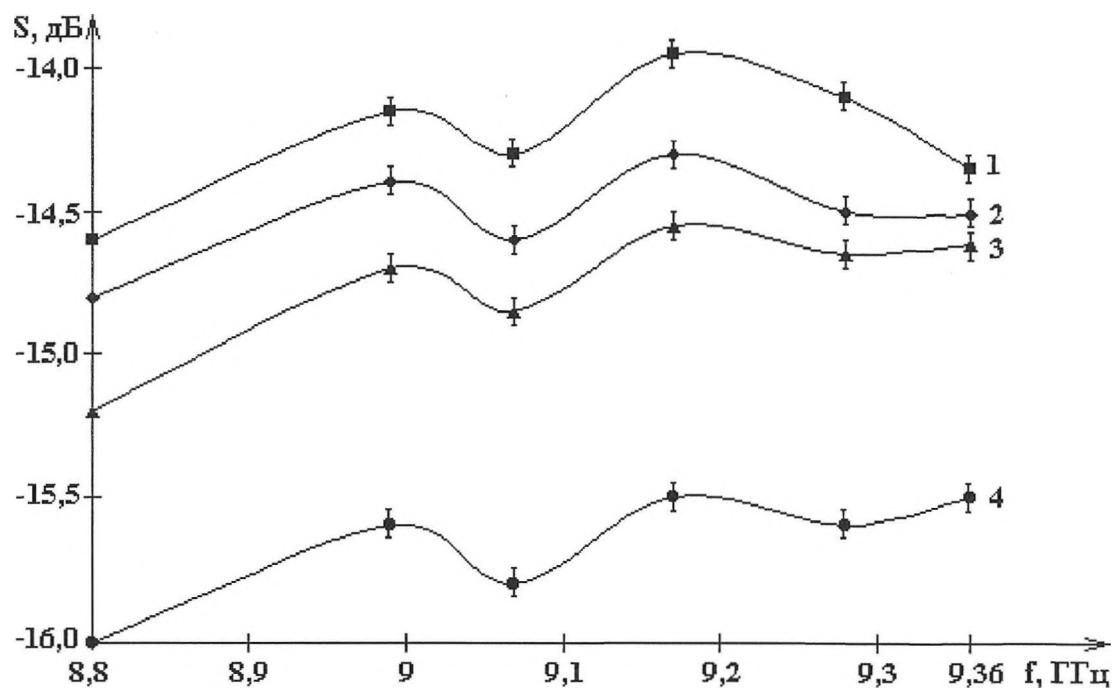


Рис. 9. Зависимость коэффициента ослабления от частоты БАЖ и контрольных.
1 (2) – дистиллированная вода контрольная(активированная), 3 (4) – физраствор активированный (контрольный).

Опыт № 2:

Герметичные тонкостенные полиэтиленовые емкости (толщина пленки $d = 0,16$ мм) для БАЖ с дистиллированной водой $V = 50$ мл помещались в рабочую камеру электрохимического активатора (Рис. 8-а). Параметры электролизера те же, что и в опыте № 1. Ток и напряжение активации были равны $I_{акт} = 1$ А, $U_{акт} = 10$ В. Активация велась в течении 40 и 60 минут. Результаты опыта отображены на графике (Рис. 10). Значения ОВП (Eh) приведены в таблице № 5.

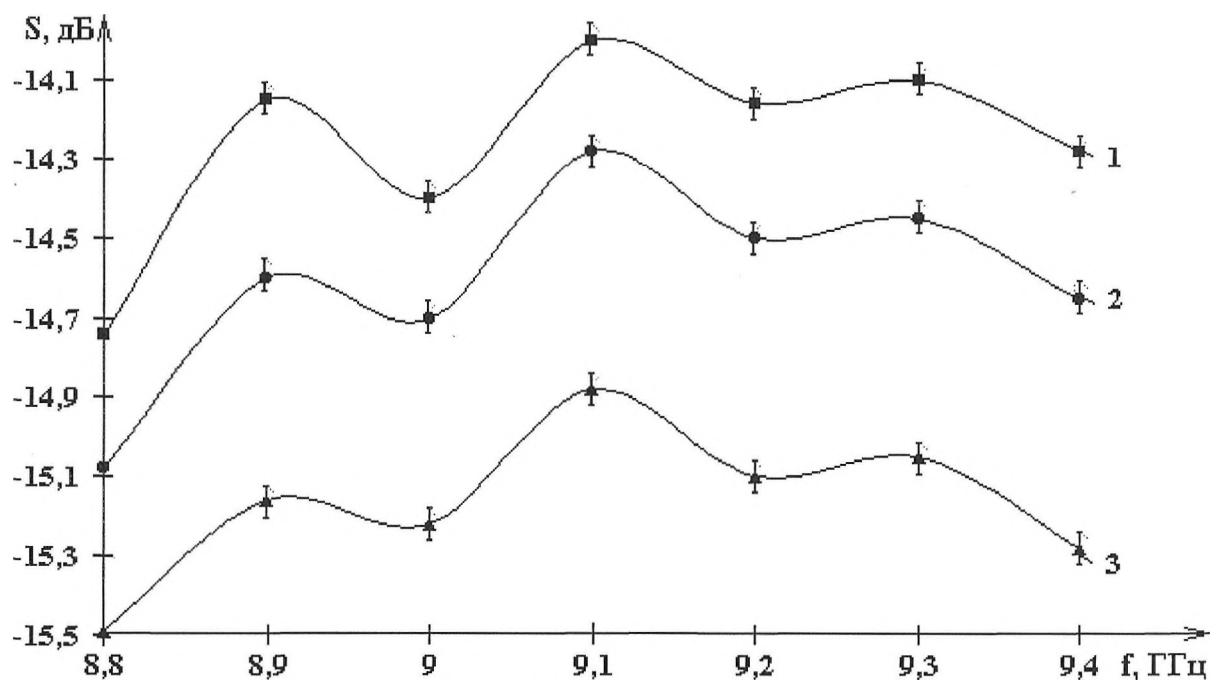


Рис. 10. Зависимость коэффициента ослабления от частоты БА и контрольной дистиллированной воды.
1 – контрольная, 2 – активированная 40 мин., 3 – активированная 60 мин.

Таблица № 5.

Жидкость	ДВК (1)	ДВА, 40 мин. (2)	ДВА 60 мин. (3)
Eh, мВ	220 ± 5	-370 ± 5	-502 ± 5

ДВА - дистиллированная вода активированная, ДВК - дистиллированная вода контрольная

Опыт № 3:

Проводилась бесконтактная активация (БА) пробы венозной крови человека, помещенная в герметичные тонкостенные полиэтиленовые емкости (толщина пленки $d = 0,16$ мм). В электролизере (Рис. 8 - б) параллельно расположены: анод (с покрытием из оксида рутения) катод из нержавеющей стали с линейными размерами $L = 110$ мм и $H = 30$ мм. Ток и напряжение активации были равны $I_{акт} = 160$ мА, $U_{акт} = 4,8$ В. Показатель ОВП крови в

контроле $Eh = (13 \pm 5)$ мВ, после активации $Eh = (-100 \pm 5)$ мВ. Зависимость коэффициента ослабления от частоты отображены на графике (Рис. 11).

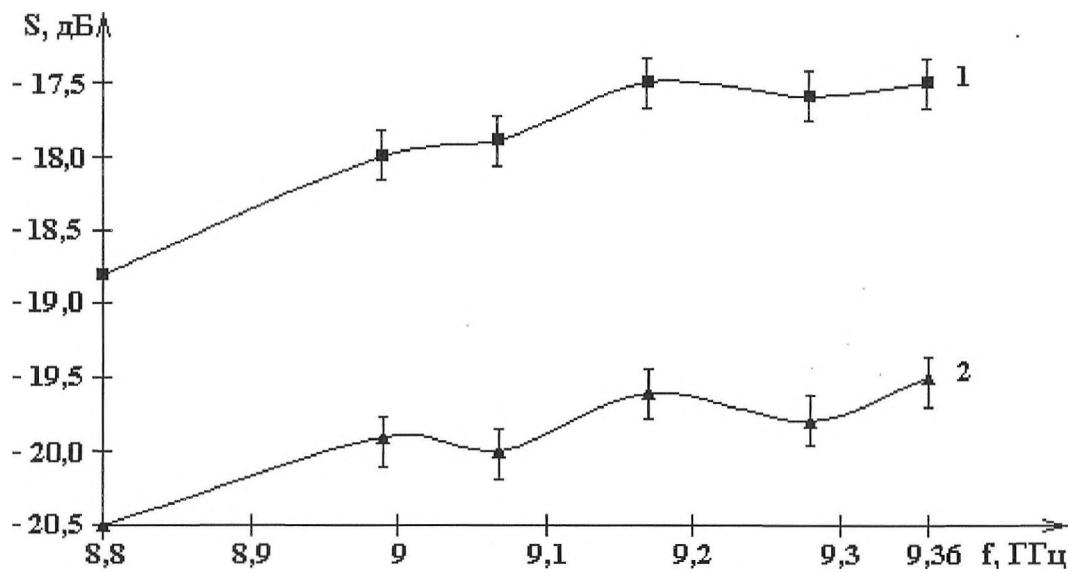


Рис. 11. Зависимость коэффициента ослабления от частоты для:
1 - БА проба крови, 2 - контрольная проба крови

Опыт № 4:

Герметичные тонкостенные полиэтиленовые емкости (толщина пленки $d = 0,16$ мм) для БАЖ с кровью помещались в рабочую камеру электрохимического активатора. В электролизере (Рис. 8 -б) параллельно расположены: анод (с покрытием из оксида рутения) и катод из нержавеющей стали с линейными размерами $L = 110$ мм и $H = 30$ мм. Ток и напряжение активации были равны $I_{акт} = 160$ мА, $U_{акт} = 4,8$ В. Регистрировался коэффициента ослабления как функция от частоты для бесконтактно активированных проб крови, показатель ОВП которых имел различные значения. Графики отображающие коэффициента ослабления приведены на Рис. 12. Значения параметра ОВП в таблице № 6.

Таблица № 6.

Жидкость	БА кровь (1)	БА кровь (2)	Контрольная кровь (3)
Eh, мВ	-580 ± 5	-180 ± 5	120 ± 5

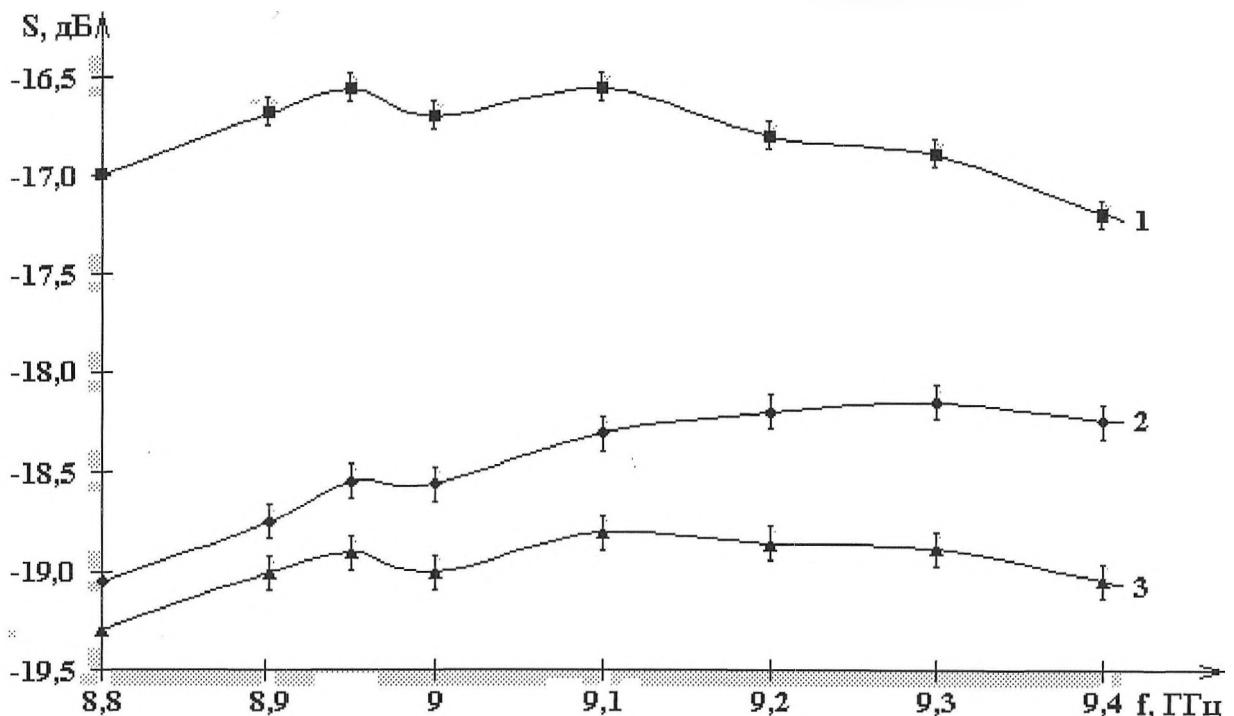


Рис. 12. Зависимость коэффициента ослабления от частоты для:
1 - БА кровь ($Eh = -580$ мВ), 2 - БА кровь($Eh = -180$ мВ), 3 - контрольная кровь

Опыт № 5:

Герметичные тонкостенные полиэтиленовые емкости ($d = 0,16$ мм толщина пленки) для БАЖ $V = 50$ мл с алкогольными напитками водка “Удмуртия”, коньяк помещались в рабочую камеру электрохимического активатора (Рис. 8-а). Использовался электролизер с такими же параметрами, что и в опыте № 1. Ток и напряжение активации были равны $I_{акт} = 1$ А, $U_{акт} = 10$ В. Активация велась 30 минут. Измерения зависимости коэффициента ослабления от частоты отображены на графике (Рис. 13). Значения показателя ОВП приведены в таблице № 7.

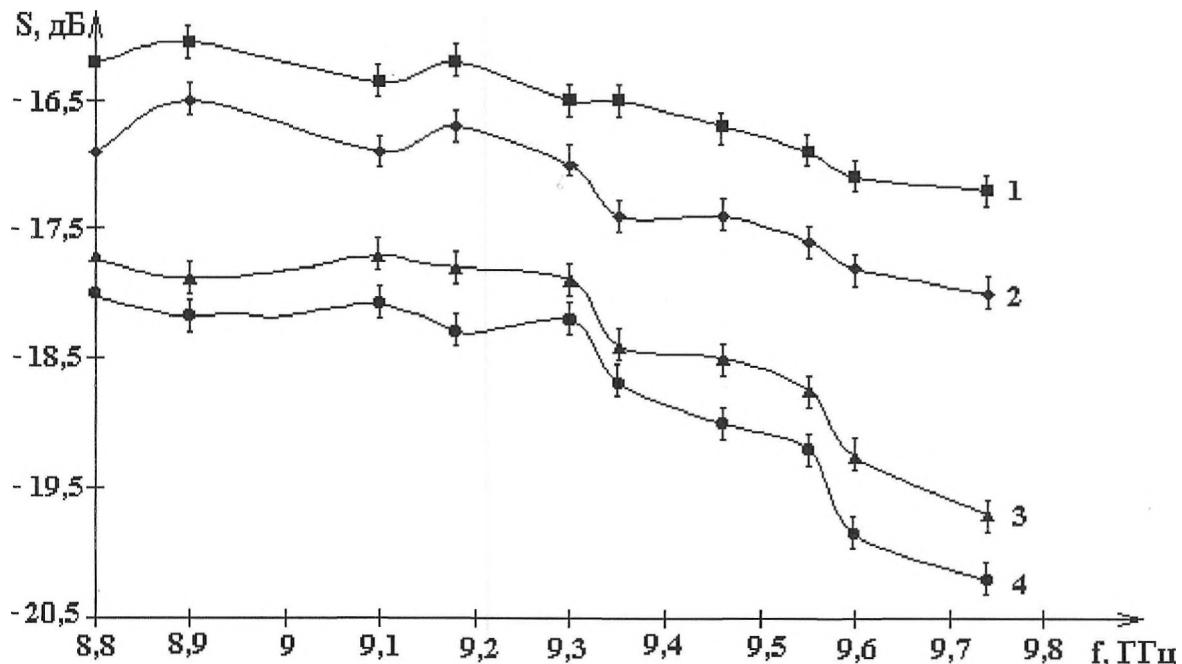


Рис. 13 Зависимость коэффициента ослабления от частоты.

1 (2) — коньяк контрольный (активированный), 3 (4) — водка контрольная (активированная).

Таблица № 7.

Жидкость	ВА	ВК	КА	КК
Eh, мВ	-251 ± 5	85 ± 5	-284 ± 5	38 ± 5

ВА - водка активированная, ВК - водка контрольная, КА - коньяк активированный, КК - коньяк контрольный.

Опыт № 6:

Герметичные тонкостенные полиэтиленовые емкости ($d = 0,16$ мм толщина пленки) для БАЖ с коньяком $V = 50$ мл помещались в рабочую камеру электрохимического активатора (Рис. 8 - а). Использовался электролизер с такими же параметрами электродов, что и в опыте № 1. Ток и напряжение активации равны $I_{акт} = 1$ А, $U_{акт} = 10$ В. Время активации составило 30 минут. Проводили измерения коэффициента ослабления контрольного (КК) и активированного коньяка (КА) непосредственно после воздействия и на

следующие сутки (для регистрации процесса релаксации). Полученные кривые приведены на графике (Рис. 14). Значения показателя ОВП в таблице № 8.

Таблица № 8.

Жидкость	КК (1)	КК (2)	КА (3)	КА (4)
Eh , мВ	38 ± 5	80 ± 5	39 ± 5	-284 ± 5

КК (1) - контроль в день активации, КК (2) - контроль на следующие сутки,
КА (3) - БАЖ в день активации, КА (4) - БАЖ на следующие сутки.

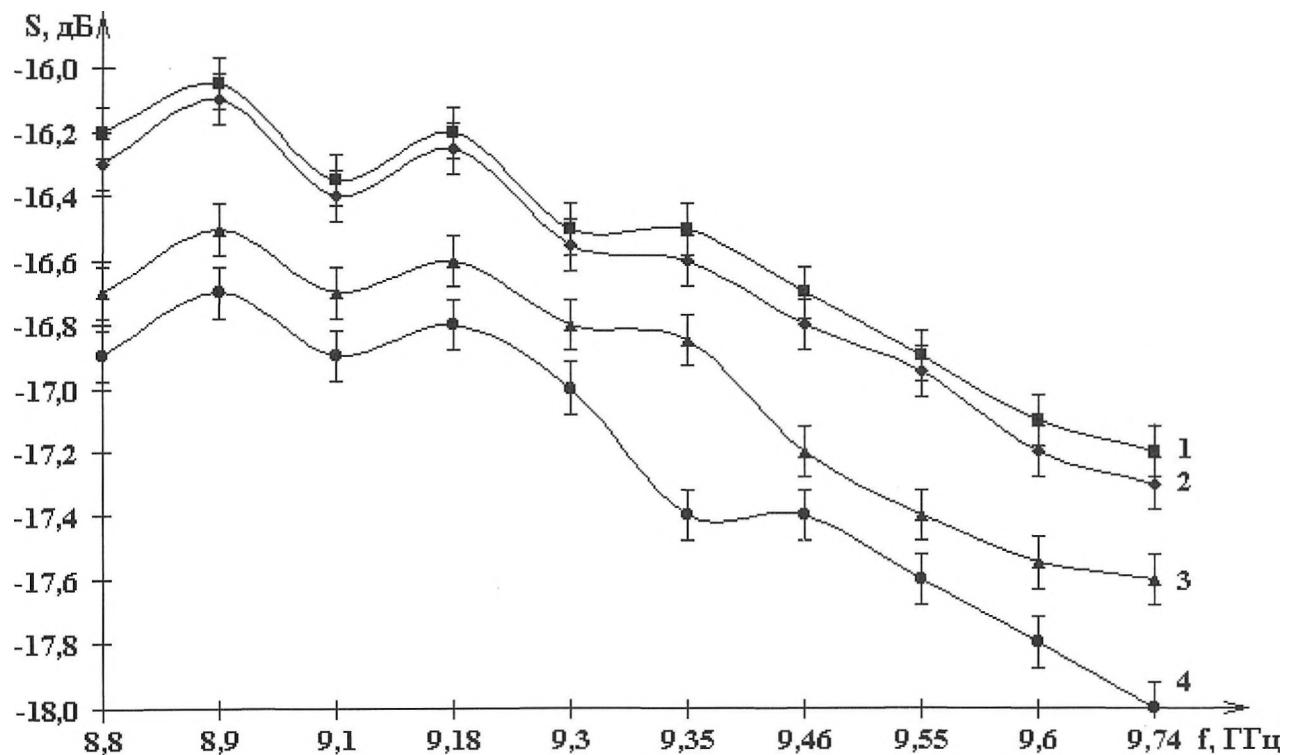


Рис. 14. Зависимость коэффициента ослабления от частоты.

1 – коньяк контрольный в день активации, 2 – коньяк контрольный на следующие сутки,
3 – коньяк активированный на следующие сутки, 4 – коньяк активированный в день активации.

Глава 3. Обсуждение результатов экспериментов и возможные области применения методов измерений.

3. 1. Обсуждение результатов экспериментов.

В результате проведенных исследований выявлены следующие особенности активированных водных растворов при регистрации коэффициента ослабления в СВЧ диапазоне электромагнитных волн:

1. В ходе экспериментальных работ было зафиксировано отличие коэффициентов ослабления (S) активированных жидкостей от коэффициентов ослабления контрольных групп растворов, не подвергнутых внешнему воздействию.
2. Изменения коэффициентов ослабления зависит от степени активации жидкости, регистрируемой по параметру ОВП.
3. Экспериментально было показано, что релаксация активированных жидкостей по параметру ОВП происходит быстрее, чем по значению S . В случае значений ОВП активированные водные растворы релаксируют в пределах суток, в то время как изменения в процессе активации по параметру S сохраняются до нескольких дней (опыты по ЭХА № 3, БАЗ № 6).
4. Знак изменения S зависит от типа жидкости.

Попытаемся дать физическую интерпретацию эффектам, зарегистрированным в ходе экспериментальных работ.

При анализе ЭХА растворов отмечено, что коэффициент ослабления католита меньше, чем у анолита (опыты по регистрации ЭХА растворов №№ 1-3). Объяснить это явление можно исходя из представления о католите как о неравновесной среде с микрокластерной структурой, находящейся в более возбужденном состоянии, чем в анолите (этот факт находит подтверждение в работах [12, 20 - 21]). Возможно, в процессе ЭХА католит становится более радиопрозрачной средой, либо в нем появляются центры с повышенным уровнем энергии, приводящие к переизлучению ЭМ волны. Это не может не отразиться на диэлектрических свойствах вещества.

Как оказалось, в процессе бесконтактной электрохимической активации коэффициент ослабления дистиллированной воды увеличивается [опыт по БАЖ № 1]. Данный эффект, вероятно, происходит из-за увеличения мнимой части диэлектрической проницаемости вещества, которая отвечает за поглощение электромагнитной волны в среде, т. е. процесс активации вызывает изменение “доменной” структуры воды.

В опытах по бесконтактной активации физиологического раствора и крови наблюдается обратный эффект (опыты по регистрации БАЖ №№ 1, 3, 4). Но в этих растворах (рассматривая кровь как сложный раствор с форменными элементами) нельзя пренебречь примесями, дающими свой вклад в общую диэлектрическую проницаемость среды. Вероятно, вещественная часть

комплексной диэлектрической проницаемости элементов примесей, определяемая интенсивностью поляризации среды, увеличивается в процессе БАЖ и этот вклад превосходит увеличение мнимой части.

3. 2. Возможности использования методов измерений.

До сих пор возникают затруднения в объяснении процессов, протекающих в активированных жидкостях, поэтому столь важно освоение новых методов исследований, дающих информацию о пространственном расположении молекул в жидких растворах, диэлектрических свойствах вещества. Регистрация изменений в жидкости, подвергнутой ЭХА и БАЖ, методами СВЧ спектроскопии вероятно позволит в дальнейшем выявить особенности микрокластерной структуры и объяснить причину столь необычного поведения активированных жидкостей. Существует так же серьезная проблема ЭХА – управление процессом. Считаем, что предложенный метод регистрации позволяет ввести дополнительные параметры для фиксирования внутреннего состояния вещества. Полагаем, что использование этого метода найдет применение для исследования биологических жидкостей человеческого организма (кровь, моча, слюна и т.п) при диагностике заболеваний на более ранних стадиях.

Заключение.

Жидкости, как показывают многочисленные эксперименты, весьма чувствительны к воздействию физических полей различной природы. При этом структурные изменения, происходящие в водных средах, приводят к появлению аномальных свойств этих веществ. Примером могут послужить электрохимически активированные растворы, способные оказывать значительное влияние на физические и биологические системы. Однако сложность процессов ЭХА как контактной, так и бесконтактной, затрудняет объяснение механизмов происходящих явлений.

Феномен бесконтактной активации жидкостей, обнаруженный при электролизе с диафрагмой [20 - 21] и без [13 - 15], вносит новые аспекты в теоретическое обоснование необычных свойств ЭХА жидкостей. Бесконтактная активация, изменяющая структуру и свойства жидкостей без изменения их химического состава, увеличивает область практического использования активированных растворов в медицине, с/х, промышленности и в быту.

В связи с этим принципиально важной в данной работе стала возможность регистрации структурных изменений в ЭХА жидкостях, в особенности БАЖ, предложенным методом.

Выводы:

- 1. Разработан измерительный стенд для регистрации диэлектрических свойств жидкостей в СВЧ диапазоне, в основу которого легли созданные лабораторные работы по теме “СВЧ техника” и “СВЧ методы анализа жидкостей” в курсах “Радиофизика” и “Вода и водные растворы”.**
- 2. Проведены исследования различных контактно и бесконтактно активированных жидких сред на измерительном стенде в СВЧ диапазоне электромагнитных волн от 8,8 до 9,4 ГГц .**
- 3. Впервые СВЧ - методом экспериментально подтвержден и исследован феномен бесконтактной активации жидкостей.**
- 4. В ходе опытов по БАЖ определилось два типа жидкостей: в одних под воздействием активации увеличивается коэффициент ослабления (дистиллированная вода, алкогольные напитки), в других – уменьшается (физиологический раствор NaCl, кровь).**
- 5. По окончании процессов активации отмечена более быстрая релаксация активированных сред по параметру ОВП, в отличие от релаксации, определяемой по параметру коэффициента ослабления.**
- 6. По результатам данной работы опубликованы тезисы и сделан доклад на 8-ой Всероссийской научной конференции студентов физиков и молодых ученых в Екатеринбурге [43]. Доклад отмечен дипломом второй степени.**

Литература.

1. Брандтс Дж. Ф. Конформационные переходы белков в воде и смешанных водных растворителях // Структура и стабильность биологических макромолекул. М.: Мир, 1973. с. 174 - 254.
2. Волькенштейн М. В. Молекулярная биофизика. М.: Наука, 1975. - 616 с.
3. Хиппель П., Шлеих Т. Влияние нейтральных солей на структуру и конформационную стабильность макромолекул в растворе // Структура и стабильность биологических макромолекул в растворе. М.: Мир, 1973. с. 320 - 380.
4. Гусев Н. А. Состояние воды в растении. М.: Наука, 1974. -92 с.
5. Пресман А.С. Электромагнитные поля и живая природа. М.: Наука, 1968. - 288 с.
6. Сидякин В. Г. Влияние флюктуаций солнечной активности на биологические системы. // Биофизика, том 37, вып. 4, 1992. с. 647 - 653.
7. Естественные и техногенные низкочастотные магнитные поля как факторы, потенциально опасные для здоровья / Птицина Н. Г., Виллорези Дж., Дорман Л. И. и др. // УФН, т.168, №7, 1998. с. 767 - 791.
8. Афанасьев В. А., Заиков Г. Е. Физические методы химии. - М.: Наука, 1984. - 175 с.
9. Конструирование экранов и СВЧ-устройств: Учебник для вузов / Под ред. Чернушенко А. М. – М.: Радио и связь. 1990. - 352 с.
10. Леонов Б. И. Электрохимическая активация воды и водных растворов. Прошлое, настоящее и будущее. Сб. тез. докл. 1-го Международного симпозиума. Электрохимическая активация в медицине, с/x, промышленности. -М.: ВНИИИМТ НПО “ЭКРАН”. 1997. с. 1.
11. Широносов В.Г. Физические основы резонансной активации воды. Сб. тез. докл. 1 - го Международного симпозиума. Электрохимическая активация в

- медицине, с/х, промышленности. -М.: ВНИИИМТ НПО “ЭКРАН”. 1997. с. 222.
12. Бахир В. М. История и сущность. - М.: 1992. -11 с.
 13. Широносов Е. В. Бесконтактная активация жидкостей. Дипломная работа. - Ижевск: 2000. - 62 с.
 14. Широносов В. Г., Широносов Е. В. Опыты по БА воды. Сб. тез. докл. 2-го Международного симпозиума. Электрохимическая активация в медицине, с/х, промышленности. -М.: ВНИИИМТ НПО “ЭКРАН”. 1999. Ч. 1. с. 66.
 15. Широносов В. Г., Широносов Е. В. Вода, Излучение, Жизнь. Сб. тез. докл. 7-го Международного симпозиума. Информационно-технологическое и медицинское обеспечение защиты населения и окружающей среды в чрезвычайной ситуации. Кипр - Проторас, 29. 04. - 6. 05. 2000. – М.: 2000. с. 42.
 16. Бецкий О. В., Голант М. Б., Девятков Н. Д. Миллиметровые волны в биологии. -М.: Знание. 1988. - 64 с.
 17. Стехин А. А., Бахир В. М. Физическая сущность активации жидкофазных систем. Сб. тез. докл. 7-го Международного симпозиума. Информационно-технологическое и медицинское обеспечение защиты населения и окружающей среды в чрезвычайной ситуации. Кипр- Проторас, 29.04-6.05 2000. –М.: 2000. с. 221 - 223.
 18. Пономарев О. А., Фесенко Е. Е. Свойства жидкой воды в электрическом и магнитном полях. // Биофизика, т. 45, вып. 1, 2000. с. 389.
 19. Синицын Н. И., Петросян В. И., Ёлкин В. А., Девятков Н. Д., Гуляев Ю. В., Бецкий О. В. Особая роль системы «миллиметровые волны – водная среда» в природе. // Биомедицинская радиоэлектроника, № 1, 1999. с. 3 - 21.
 20. Бахир В. М. Электрохимическая активация. Ч.1. -М.: ВНИИИМТ НПО “ЭКРАН”. 1992. - 401 с.

21. Прилуцкий В.И., Бахир В.М. Электрохимически активированная вода: аномальные свойства, механизм биологического действия. -М.: ВНИИИМТ НПО “ЭКРАН”. 1997. - 228 с.
22. Леонов Б. В., Бахир В. М. ЭХА в практической медицине. Сб. тез. докл. 2-го Международного симпозиума. Электрохимическая активация в медицине, с/х, промышленности. - М.: ВНИИИМТ НПО “ЭКРАН”. 1999. Ч. 1. с. 14.
23. Бахир В.М. Электрохимическая активация: теория и практика. Сб. тез. докл. 1-го Международного симпозиума. Электрохимическая активация в медицине, с/х, промышленности. -М.: ВНИИИМТ НПО “ЭКРАН”. 1997. с. 15.
24. Стехин А. А., Яковлева Г. В., Ишутин В. А. О механизме активации воды. Сб. тез. докл. 2-го Международного симпозиума. Электрохимическая активация в медицине, с/х, промышленности. -М.: 1999. Ч. 1. с. 123.
25. Бут А. И. Электронно-ионные процессы водных структур живых организмов и продуктов их переработки. -М.: Эксперт информ. 1992. - 149 с.
26. Мирошников А. И. Исследование параметров анализов хлоридов лития, калия, цезия после обработки растворов в диафрагменном электролизере // Биофизика, т. 43, вып. 3, 1998. с. 555 - 559.
27. Слесарев В. И., Шабров А.В. Влияние структуры воды на ее статические и динамические свойства. II Международный Конгресс «Слабые и сверх слабые поля и излучения в биологии и медицине». - СПб.: 2000. с. 102 - 104.
28. Синюков В. В. Вода известная и неизвестная. - М.: Знание, 1987. - 284 с.
29. Слесарев В. И. Химия: основы химии живого. – СПб.: Химиздат, 2000. - 768 с.
30. Рубин А. Б. Биофизика. кн.1 Теоретическая биофизика. -М.: Высш. шк., 1987. - 319 с.

31. Фесенко Е. Е., Терпугов Е. Л. О необычных спектральных свойствах воды в тонком слое. // Биофизика, т. 44, вып. 1, 1999. с. 5 - 9.
32. Зацепина Г. Н. Физические свойства и структура воды. – М.: Изд-во МГУ, 1998. - 184 с.
33. Антонченко В. Я., Давыдов А. С., Ильин В. В. Основы физики воды. – Киев: Наук. думка, 1991. - 635 с.
34. Зенин С. В. Автореф.докт.дисс. «Структурированное состояние воды как основа управления поведением и безопасностью живых систем». – М.: 1999. - 42 с.
35. Онацкая А. А., Музалевская Н. И. Активированная вода. - в кн. «Химия – традиционная и парадоксальная». – Л.: Изд. ЛГУ, 1985. с. 88 - 113.
36. Петросян В. И., Синицын Н. И., Ёлкин В. А., Башкатов. Взаимодействие водородсодержащих сред с магнитными полями. // Биомедицинская радиоэлектроника, №2, 2000. с. 10 - 17.
37. Шахпаронов М. И. Метод исследования теплового движения молекул и строения жидкостей. -М.: МГУ., 1963. - 281 с.
38. Харвей А. Ф. Техника сверхвысоких частот. - М.: Сов. радио, 1965. 783 с.
39. Хиппель А. Р. Диэлектрики и волны. - М.: изд-во иностранной литературы, 1960. – 438 с.
40. Хиппель А. Р. Диэлектрики и их применение. - М.: изд-во иностранной литературы, 1956. – 348 с.
41. Лебедев И. В. Техника и приборы сверхвысоких частот. -М.: Высш. шк. 1972. - 512 с.
42. Халявина И. Л. Оптимизация режимов работы проточных электрохимических модулей в установках серии «Изумруд-СИ». Дипломная работа. - Ижевск: 2002.

43. Коновалова Н. А., Широносов В. Г., Меньшикова С. Г. Регистрация феномена бесконтактной активации жидкостей методом СВЧ-спектроскопии. Сб. тезисов ВЕКСФ-8. Екатеринбург: 2002. с. 590 - 592.

Приложение.

Погрешности измерения приборов используемых в опытах:

- 1) Блок питания ВСА - 1: $\Delta I = \pm 0,1$ А; $\Delta U = \pm 0,3$ В;
- 2) Весы механические: $\Delta m = \pm 0,05$ г;
- 3) Мензурка: ΔV (электролизера) = ± 15 мл, ΔV (емкости) = ± 1 мл;
- 4) Прибор типа pH-150 для измерения ОВП: $\Delta \text{ОВП} = \pm 5$ мВ;
- 5) Генератор типа ГКЧ-60: частота СВЧ $\Delta f/f = \pm 2\%$;
- 6) Измеритель коэффициента стоячей волны и ослабления типа Я2Р-64:
 $\Delta S/S = \pm 5\%$;
- 7) Прибор самопищащий двухкоординатный: коэффициент искажения кривой напряжения не более 0,2%.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
УДМУРТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ

Зав. Кафедрой биомедфизики,

к. ф.-м. н.

 В. Г. Широносов
“17” 05 2001 г.

СВЧ - ТЕХНИКА.

Методические указания

Ижевск

2000

Указания рассмотрены и утверждены методической комиссией кафедры
“Биомедфизики” физического факультета.

Протокол №0517 от “17” 05 2007 г.

Председатель методической комиссии кафедры биомедфизики, к. ф.-м. н.
В.Г.Широносов.

В методических указаниях содержится описание лабораторной работы по потоковому курсу “Радиофизика” для студентов 4-го курса физического факультета. Даны краткие теоретические сведения и подробно изложена методика выполнения экспериментальной части работы.

Работа может быть использована студентами, аспирантами, специалистами и других специальностей, занимающихся изучением радиофизики.

Работу подготовил(а):



Коновалова Н. А.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: ознакомление с приборами СВЧ техники, их назначение и применение.

ПРИБОРЫ И МАТЕРИАЛЫ: анализатор спектра С4 - 27, генератор сигналов высокочастотный Г4 - 79, генератор качающейся частоты ГКЧ - 60, мост термисторный Я2М - 64; аттенюаторы, волноводы, ферритовый вентиль (ФВ), ферритовый циркулятор (ФЦ), коаксиально-волноводные переходы.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.

1. 2. Волны СВЧ.

Электромагнитные волны сверхвысоких частот (СВЧ), в диапазоне частот от 300 МГц до 300 ГГц, являются формой электромагнитного излучения, т.е. волнового движения, связанного с электрическими и магнитными силами. Поэтому, их общие свойства вытекают из электромагнитной теории. Электромагнитное поле можно рассматривать как область векторов **H** и **E**. В любой момент времени вектор, характеризующий полное электрическое поле, описывает эллиптическую спираль. Вектор магнитного поля будет повсюду составлять прямой угол с вектором электрического поля, и находиться с ним в фазе.

Существует много областей использования электромагнитных колебаний СВЧ диапазона. Одной из таких областей является радиолокация, основанная на обнаружении предмета по его "радиотени". Также СВЧ колебания успешно применяются в различных областях техники для нагрева материалов. Это связано с тем, что энергия СВЧ хорошо поглощается многими диэлектрическими материалами. С помощью СВЧ возможна ионизация газов для воздействия на протекание химических процессов, питание ускорителей частиц в научных исследованиях.

При продвижении в область коротких волн (т. е. в область высоких частот) встречаются значительные трудности, связанные с ухудшением различных радиотехнических устройств (уменьшение мощности передачи, уменьшение коэффициента усиления приемника и т.д.). Одна из причин ухудшения работы радиотехнических устройств заключается в следующем: на низких частотах отдельные части радиотехнической схемы можно соединять обычными проводами, не опасаясь, что радиоволны будут излучаться в открытое пространство. На высоких частотах (коротких волнах) размеры соединительных проводов в схемах могут оказаться соизмеримыми с

длиной волны, что является условием сильного излучения волн, затрудняющего работу радиотехнических устройств. Поэтому, для эффективного использования колебаний высоких частот, старые методы генерирования и передачи не годятся. Это привело к появлению техники и приборов сверхвысоких частот.

Линии сверхвысоких частот можно образовывать, ограничивая диэлектрическую среду двумя бесконечными проводящими поверхностями. Примером является коаксиальная линия (коаксиал)- одна из наиболее распространенных и применяемых линий. По коаксиалу электромагнитные волны распространяются в диэлектрической среде, ограниченной двумя проводящими коаксиальными цилиндрами (рис. 1).

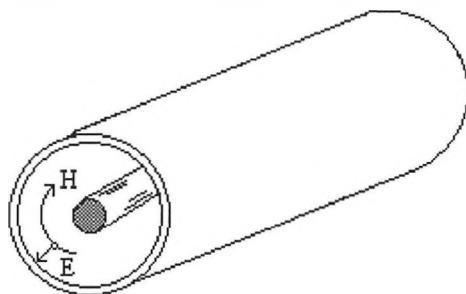


Рис. 1. Коаксиальная линия.

Стрелками указаны направления тангенциальной составляющей вектора **H** и радиальной составляющей вектора **E**.

Электромагнитные волны также распространяются внутри полых проводников, и в этом случае электрическое или магнитное поля могут иметь продольную составляющую. Такие волноводы имеют обычно вид металлических труб прямоугольного или круглого сечения [1, с. - 46]. Прямоугольный волновод представляет собой полую металлическую трубку, минимальный внутренний размер широкой стенки которой должен превышать половину длины волны интересующей частоты. В результате множественных отражений от стенок волновода электромагнитная волна продвигается к концу волновода, при этом волна распространяется "зигзагами" (рис. 2).

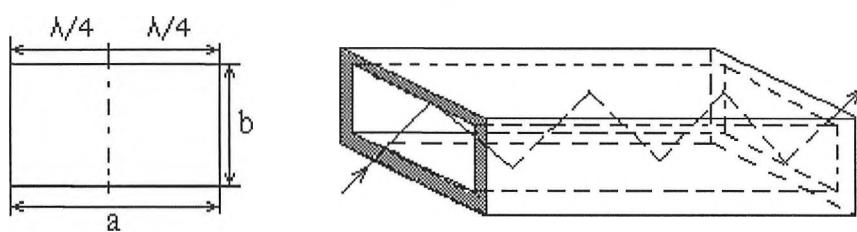


Рис. 2. Поперечное сечение прямоугольного волновода и внутреннее отражение в нем,
где a и b обозначают ширину и высоту волновода, λ - длина проходящей волны.

В технике СВЧ часто используются переходы от коаксиальной к волноводной линии (рис. 3).

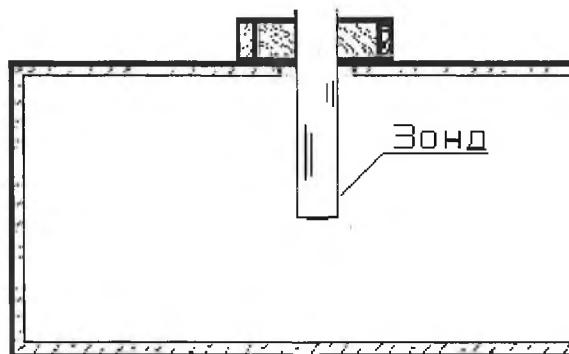


Рис. 3. Коаксиально-волноводный переход зондовый.

Центральный проводник коаксиальной линии, удерживаемый диэлектрической шайбой, выступает внутрь волновода и возбуждает в нем волну.

Во многих случаях требуется регулировать уровень СВЧ мощности в линии передач. Такая необходимость возникает, например, при испытаниях СВЧ усилителей, когда необходимо знать зависимость выходной мощности от входной и приходится регулировать уровень входной мощности. Существует много типов устройств для плавной регулировки СВЧ мощности. Они называются аттенюаторами. Затухание, вносимое аттенюатором, обычно измеряется в децибелах и равно

$$10 * \lg(\text{мощность на входе} / \text{мощность на выходе}).$$

В технике СВЧ существуют устройства поглощающие волну в одном направлении и пропускающие ее практически без всякого ослабления в другом. Такие устройства называются развязками или вентилями по аналогии с полупроводниковыми вентилями, пропускающими электрический ток лишь в одном направлении. Основным элементом ферритового вентиля является ферритовая пластинка (рис. 4).

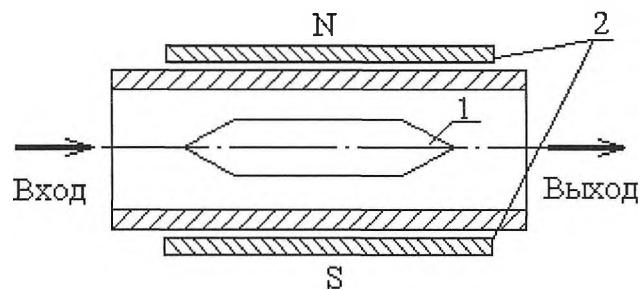


Рис. 4. Схема устройства ферритового вентиля.

1 - ферритовая пластина; 2 - постоянный магнит.

Феррит обладает малыми потерями на СВЧ, но его поведение существенно изменяется в присутствии внешнего магнитного поля. Наличие атомов железа, никеля и др. металлов делает феррит магнитным материалом. Внешнее постоянное магнитное поле "выстраивает" в ряд элементарные магнитики феррита, которыми являются врачающиеся в атомах электроны. Магнитное поле СВЧ волны, проходящее вдоль ферритовой пластиинки, влияет на её элементарные магнитики. Можно так подобрать взаимное расположение ферритовой пластиинки и направления постоянного магнитного поля относительно проходящей СВЧ волны, что при движении в одном направлении волна будет раскачивать электроны-волчки в феррите, затрачивая на это всю свою энергию, а при движении в противоположном направлении не будет взаимодействовать с ними, т. е. будет проходить через намагниченный феррит без потерь энергии.

1. 3. Воздействие волн СВЧ диапазона на биологические системы

При облучении биологических систем электромагнитными волнами СВЧ диапазона возможен диэлектрический нагрев тканей, т. е. нагрев, вызванный диэлектрическими потерями при взаимодействии электрической компоненты СВЧ поля с веществом. Излучение, попадающее на тело человека, частично поглощается в нем. Поглощаемая часть проходит через кожу, подкожный жировой слой и более глубоко расположенные другие с высоким содержанием воды ткани, которые при взаимодействии с волнами СВЧ нагреваются. Если известны электрические свойства тканей, то легко определить величину нагрева, суммарное количество энергии, поглощаемой телом. Диэлектрическая проницаемость и удельное сопротивление тканей постепенно уменьшается с ростом частоты от 100 МГц до 1000 МГц.

Среди нетепловых эффектов, вызываемых облучением волнами СВЧ, различают сильные и слабые взаимодействия поля с облучаемой средой. Эффекты насыщения диэлектриков, явления, связанные с ориентацией поля, и т. п. следует квалифицировать как сильные взаимодействия, поскольку для их наблюдения требуются большие напряженности поля (выше 100 В/см). Сильные взаимодействия сопровождаются значительным повышением температур (тепловыми эффектами). К слабым взаимодействиям нетеплового характера относятся те, которые наблюдаются при

напряженностях поля и интенсивностях потока, не вызывающих сколько-нибудь значительного нагрева и повышения температуры.

Облучение сильными источниками электромагнитной энергии может нанести ущерб здоровью. Если температура тела повышается более чем на $5-100^{\circ}\text{C}$, то происходят процессы денатурации макромолекул и возможны необратимые изменения, способные привести биологическую систему к гибели.

Предельно допустимый уровень облучения $0,01 \text{ мВт}/\text{см}^2$ при облучении в течение всего рабочего дня, $0,1 \text{ мВт}/\text{см}^2$ при облучении в течение 2-ух часов и $1 \text{ мВт}/\text{см}^2$ при облучении в течение не более 20 мин. за весь рабочий день [4].

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.

2.1. Порядок выполнения работы.

1. Для снятия спектра прошедшей волны включить и подготовить к работе генератор высокочастотных сигналов (Г4 - 79 или ГКЧ - 60), анализатор спектра С4 - 27, мост термисторный Я2М - 64 в соответствии с приложением 1, 2, 3, 4.
2. Подать исследуемый сигнал через КВП с генератора на СВЧ тракт (блок-схема тракта на рис. 5)
3. Пройдя через ферритовый вентиль, волна поступает на АТ 1, с помощью которого производим ослабление или усиление проходящей волны. Далее СВЧ волна распространяется по волноводу, циркулируя в ФЦ, к которому присоединены волновод для перехода на АТ 2 и КВП для изучения СВЧ волны на ОСЦ - мВ. Переключая 1, пропускаем волну на Р либо на анализатор спектра.
4. В зависимости от поставленной задачи применяем анализатор спектра для определения спектра прошедшей волны (см. приложение 3), либо прибор Р для измерения мощности волны. (см. приложение 4).
5. Зарисовать спектр СВЧ волны на миллиметровой бумаге с экрана анализатора спектра, для заданной частоты (частота задаётся преподавателем).

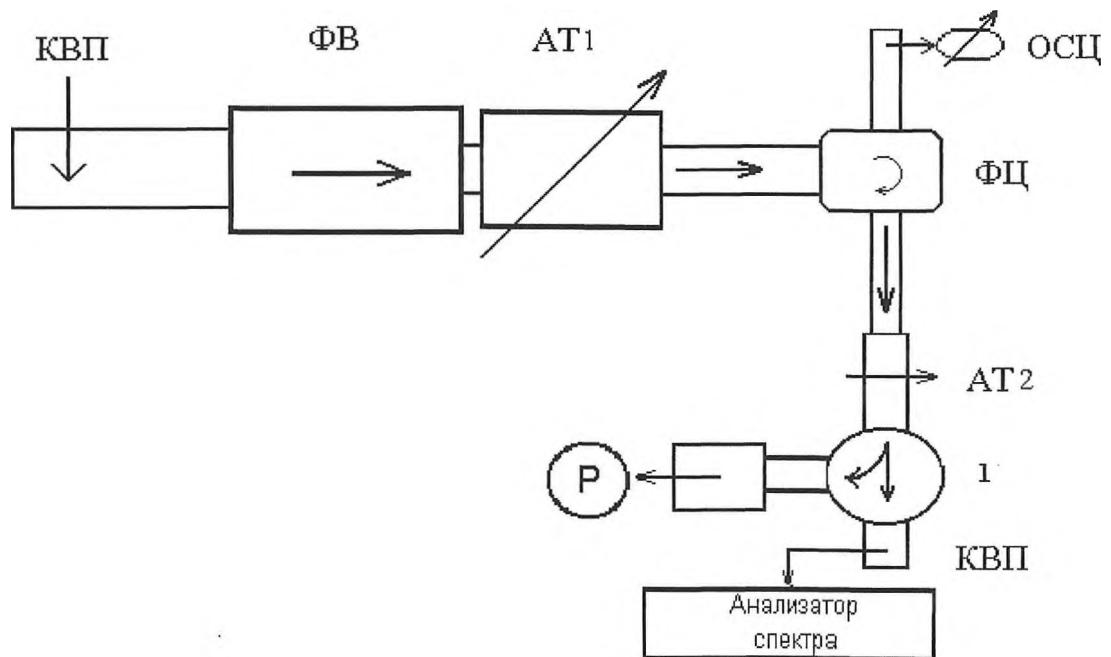


Рис. 5. Блок-схема СВЧ тракта, используемого в работе.

КВП - коаксиально-волноводный переход; АТ 1, АТ 2 - аттенюаторы; ФВ - ферритовый вентиль; ФЦ - ферритовый циркулятор; Р - прибор для измерения мощности (Я2М-64); ОСЦ - мВ - осциллограф либо милливольтметр; I - волноводный переключатель.

ПРИЛОЖЕНИЕ

1. Порядок работы с генератором Г4 - 79.

Генератор высокочастотных сигналов Г4 - 79 выполняет функции источников СВЧ сигнала, калиброванного по частоте, уровню входной мощности и по параметрам импульсной модуляции. Подробнее смотри "Техническое описание, инструкцию по эксплуатации".

1. Включить вилку питания в сеть, после чего переключить тумблер СЕТЬ ВКЛ. в верхнее положение. Прогреть прибор не менее 30 минут.
2. Установить ручкой, связанной со шкалой МГц, требуемую частоту. Переключатель рода работ установить в положение или.

2. Порядок работы с генератором ГКЧ - 60.

1. Включить тумблер сеть и прогреть в течение 15 мин.
2. Устанавливая переключатель индикации в положение F_1 и F_2 , выставить ручками F_1 , F_0 и F_2 , ΔF по отсчетному табло полосу качания частоты, соответствующую диапазону ГКЧ-60.
3. Подключить внешний СВЧ тракт к разъему ВЫХОД. Включить тумблер СВЧ.

3. Порядок работы с анализатором спектра С4 - 27.

В работе для измерения частот применяется анализатор спектра С4 - 27 и блок СВЧ для определения волн в диапазоне 0,01 - 39,6 ГГц. Прибор предназначен для исследования спектров периодически повторяющихся импульсов и непрерывных сигналов (см. техническое описание).

Принцип работы (рис. 6): прибор представляет собой супергетеродинный приемник с тройным преобразованием частоты (гетеродин - маломощный генератор электрических колебаний с самовозбуждением на транзисторе, полупроводниковом диоде с отрицательной проводимостью тока или электронной лампе). Исследуемый сигнал подается на соответствующий вход блока СВЧ в зависимости от частоты, где в смесителе преобразуется в сигнал промежуточной частоты (ПЧ). В усилителе промежуточной частоты блока СВЧ сигнал усиливается до уровня, исключающего влияние шумов последующего тракта, и в полосе частот 157,5 - 162,5 МГц подается на вход анализатора

спектра ПЧ. Пройдя дальнейшие преобразования в анализаторе спектра ПЧ, сигнал отображается на экране ЭЛТ, что позволяет определить спектр данного сигнала.

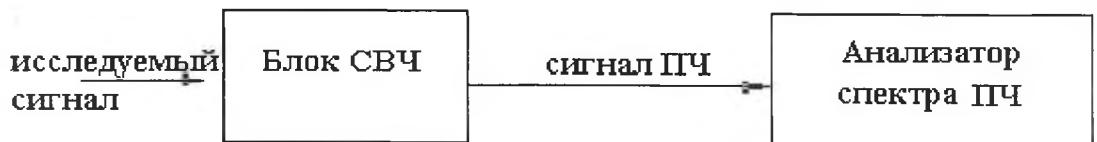


Рис. 6. Схема работы анализатора спектра.

1. Включите прибор в сеть и дайте ему прогреться 30 мин.
2. Линию развертки на экране трубы анализатора спектра с помощью ручек **СМЕЩЕНИЕ** совместить с нижней линией масштабной сетки ЭЛТ. Ручками **ФОКУС** и **ЯРКОСТЬ** установить необходимую фокусировку и яркость линии развертки.
3. Период развертки регулируется ручкой **РАЗВЕРТКА S**.
4. В положении " - 49" ручек **ОТСЧЕТ АМПЛИТУД** dB на ЭЛТ видны шумы, размах которых уменьшается при неизменном среднем значении, с увеличением постоянной времени ручкой **ПОСТОЯН. ВРЕМЕНИ** mS.
5. Подать на **ВХОД GHz** блока СВЧ сигнал с волноводного тракта с учетом диапазона проходящей волны.
6. Выставить ручку **ДИАПАЗОН GHz** на соответствующую метку.
7. С помощью ручки **НАСТРОЙКА** выставить прибор на рабочую частоту.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

1. К какому диапазону частот относятся волны СВЧ?
2. Область применения этих волн.
3. Какие существуют способы передач сигналов СВЧ, и почему неприменимы обычные линии передач для данного диапазона?
4. Каков характер распространения СВЧ волны по волноводу?
5. Объяснить принцип работы и назначение ферритового вентиля?
6. Объяснить назначение и принцип работы каждого элемента цепи?

ЛИТЕРАТУРА.

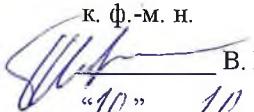
1. Харвей А.Ф. Техника сверхвысоких частот. - М.: Сов. радио, 1965. -783 с.
2. Воскобойников М. Ф., Черников А. И. Техника и приборы СВЧ. -М.: Радио и связь, 1982. - 208 с.
3. Фуско В. СВЧ цепи. -М.: Радио и связь, 1990. - 288 с.
4. СВЧ - энергетика / Под ред. Окressa Э. -М.: Изд-во "Мир", т 4. 1971. - 248 с.
5. Технические описания и инструкции по эксплуатации к приборам:
 - генераторы Г4-79 и ГКЧ-60;
 - анализатор спектра С4-27;
 - аттенюаторы Д5-10 и Д5-20.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
УДМУРТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой биомедфизики,

к. ф.-м. н.

 В. Г. Широносов
“10” 10 2007 г.

СВЧ-МЕТОДЫ АНАЛИЗА ЖИДКОСТЕЙ

Методические указания

Ижевск -2002

Указания рассмотрены и утверждены методической комиссией кафедры “Биомедфизики” физического факультета.

Протокол №10 от “10” 10 2001 г.

Председатель методической комиссии кафедры биомедфизики, к. ф.-м. н. В.Г.Широносов.

В методических указаниях содержится описание лабораторной работы по потоковому курсу “Радиофизика” для студентов 4-го курса физического факультета. Даны краткие теоретические сведения и подробно изложена методика выполнения экспериментальной части работы.

Работа может быть использована студентами, аспирантами, специалистами и других специальностей, занимающихся изучением радиофизики.

Работу подготовил(а):



Коновалова Н. А.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: определение коэффициентов ослабления (S) и стоячей волны (КСВН) для волноводной линии передач с различными типами нагрузок - жидкостей.

ПРИБОРЫ И МАТЕРИАЛЫ: измеритель КСВН панорамный Р2 - 60, в состав которого входят следующие блоки и узлы:

- индикатор КСВН и ослабления Я2Р - 67;
- генератор качающейся частоты ГКЧ - 60;
- самопишущий прибор Н - 307
- коаксиально-волноводный переход;
- направленные детекторы падающей и отраженной волн;
- согласованная нагрузка и короткозамыкатель.

В качестве нагрузки для волноводной линии используется: вода водопроводная, дистиллированная, физиологический раствор, анализ, католит.

1. ВВЕДЕНИЕ.

В настоящее время существует много способов по определению химических и физических свойств жидкостей: pH-метрия, определение редокс-потенциала (Eh) и вязкости среды. Но зачастую эти методы не позволяют проводить анализ внутренней структуры жидкостей. Основным недостатком подобных измерений является то, что элементы приборов вступают в непосредственный контакт с исследуемыми веществами и могут внести качественные изменения в их структуру. Исключить подобные недостатки позволяют бесконтактные методы исследований, основанные на использовании электромагнитных волн сверхвысокочастотного диапазона (СВЧ). Измерение характеристик материалов СВЧ методами дают возможность определять свойства вещества и их молекулярную структуру. Одними из основных характеристик материалов являются магнитная и диэлектрическая проницаемости. Зная их, возможно качественное сравнение различных типов жидкостей по их физическим свойствам. В силу высокой чувствительности данных методов, возможно также фиксировать изменения в веществе, подвергнутого какому-либо внешнему воздействию.

Один из бесконтактных методов определения диэлектрической проницаемости основан на измерении коэффициента стоячей волны по напряжению (КСВН). Данный па-

раметр определяется для волноводной линии, где в качестве нагрузки используется ис-следуемая жидкость.

Целью данной работы является измерение КСВН и S для волновода с использованием различных типов жидкостей в качестве нагрузок. Полученные данные могут служить для проведения дальнейшего сравнительного анализа.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.

2. 1. Характеристики волноводных линий.

Диэлектрические свойства материала нагрузки влияют на распространение волны в линии. Они могут быть оценены из величин КСВН, S и из расстояния первого максимума до границы диэлектрика.

Электромагнитная энергия передаётся от источника к нагрузке по линиям передач, представляющим собой проводящие или изолирующие поверхности. В пространстве между этими поверхностями создается поток электромагнитной энергии определенного направления. На практике чаще всего применяют двухпроводные, коаксиальные и волноводные линии передач. При передаче энергии низкочастотных колебаний - двухпроводные линии передачи (при частотах $\nu < 30 \text{ МГц}$), коаксиальные – при передаче энергии колебаний в диапазоне метровых и дециметровых волн ($\nu = 30 - 3000 \text{ МГц}$) волноводные – в диапазоне сантиметровых и миллиметровых волн ($\nu > 3 \text{ ГГц}$).

Все линии передачи, независимо от их конструкции являются системами с распределенными параметрами, и их электрические свойства характеризуются индуктивностью L, емкостью C, сопротивлением R и проводимостью G на единицу длины. По этим первичным параметрам определяются полное сопротивление данной линии $Z = R + i\omega L$ и полная проводимость $Y = G + i\omega C$. В практике наиболее удобной характеристикой линии оказались вторичные параметры: волновое сопротивление $\rho = \sqrt{\frac{Z}{Y}}$ и коэффициент распространения $\gamma = \sqrt{Z \cdot Y}$. Обе эти величины являются комплексными, но на высоких частотах $R \ll \omega L$ и $G \ll \omega C$, так что линии можно считать линиями без потерь; тогда волновое сопротивление является активным $\rho = \sqrt{\frac{L}{C}}$, а коэффициент распространения ха-

рактеризуется только коэффициентом фазы $\beta = 2 \cdot \frac{\pi}{\lambda}$. Величины L и C определяются размерами и конструкцией линии передачи.

Волновое сопротивление коаксиальной линии

$$\rho = 138 \cdot \frac{\lg\left(\frac{D}{d}\right)}{\sqrt{\epsilon}} \quad (1)$$

где D – внутренний диаметр внешнего проводника, d – диаметр внутреннего проводника, ϵ – относительная диэлектрическая проницаемость диэлектрика, заполняющего линию.

Волновое сопротивление волновода без потерь с воздушным заполнением, по которому распространяется энергия только одной волны, вычисляется по формулам:

$$\rho = 120 \cdot \frac{\pi \cdot \lambda_s}{\lambda} \text{ для волн типа H} \quad (2)$$

$$\rho = 120 \cdot \frac{\pi \cdot \lambda}{\lambda_e} \text{ для волн типа E} \quad (3)$$

где $\lambda = c / f$ – длина волны в свободном пространстве, $\lambda_v = \lambda / (1 - (\lambda / \lambda_{kp})^2)$ длина волны в волноводе, λ_{kp} – критическая длина волны волновода.

Режимы работы линии передач конечной длины, соединенной с произвольной нагрузкой с сопротивлением Z_h , характеризуются коэффициентом отражения Γ , коэффициентами стоячей волны (КСВН) или бегущей волны (КБВ). Эти понятия вытекают из представления процесса распространения энергии от генератора к нагрузке в виде двух бегущих волн напряжения, движущихся в противоположных направлениях с одинаковой скоростью. Волну, движущуюся от генератора к нагрузке, называют падающей U_p , волну, движущуюся от нагрузки к генератору, - отраженной U_o .

В зависимости от характера и величины нагрузки в линии устанавливается один из трех режимов: бегущей волны, стоячей волны и смешанных волн. При рассмотрении этих режимов полагаем, что в линию передач включен генератор синусоидального напряжения с внутренним сопротивлением R_g , равным волновому сопротивлению линии.

Режим бегущей волны устанавливается при нагрузке линии активным сопротивлением, равным её волновому: $Z_h = R_h = \rho$. В линии существует поток энергии падающей волны, поглощаемый нагрузкой; отраженной волны нет. Напряжение и ток во всех сечениях линии изменяется по синусоидальному закону и их координаты не зависят от времени (Рис. 1- а)

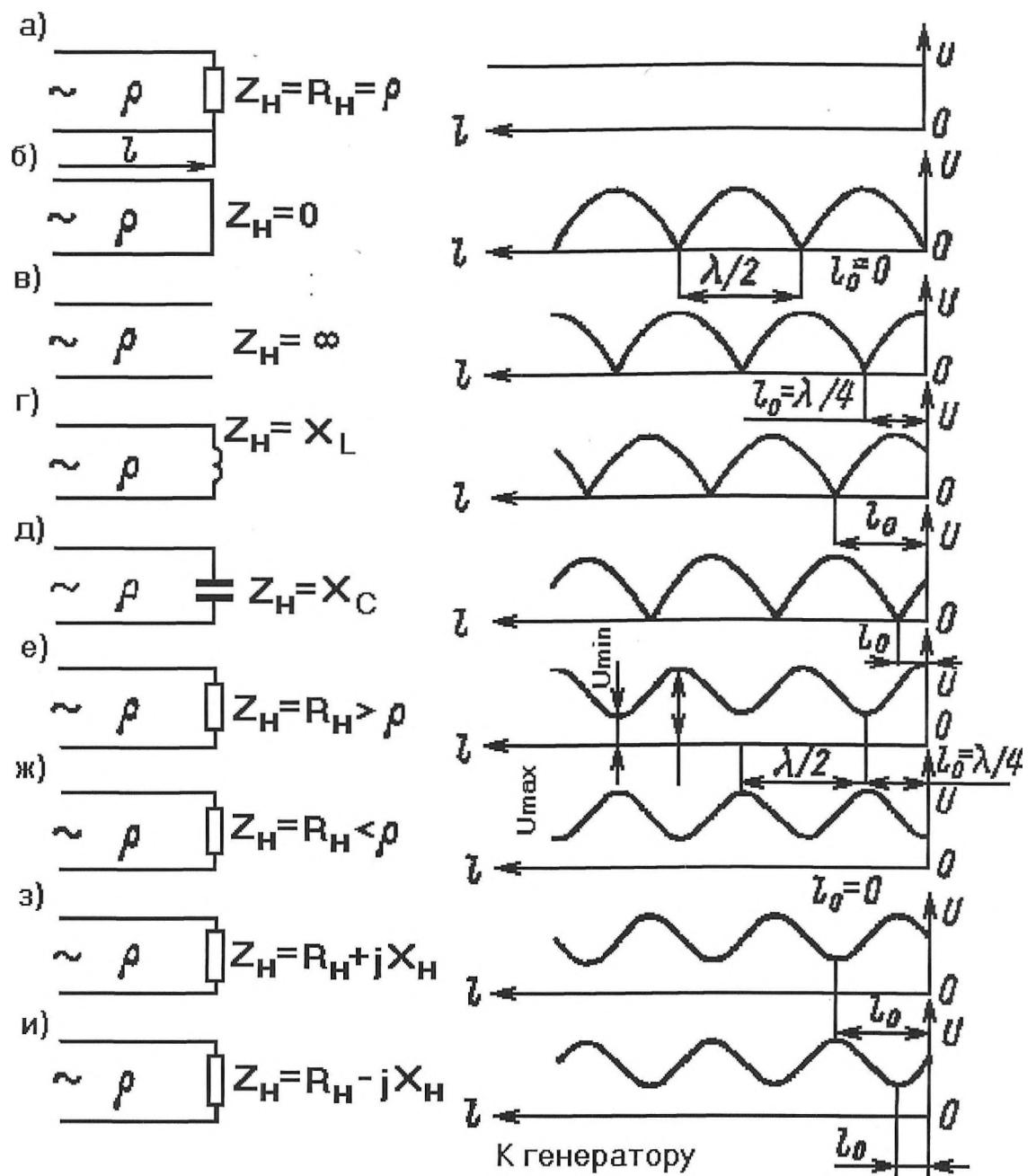


Рис. 1. Зависимость напряжения от типа распространения волны в волноводном тракте.

Режим стоячей волны устанавливается при коротком замыкании линии ($Z_H = 0$), при разомкнутой линии ($Z_H = \infty$) и при нагрузке линии реактивным сопротивлением X_L и X_C . Во всех этих случаях в линии отсутствует односторонний поток энергии в сторону нагрузки.

При коротком замыкании (Рис. 1- б) линии амплитуда отраженной волны напряжения равна амплитуде падающей. По фазе они противоположны друг другу. В месте короткого замыкания образуется первый узел напряжения, затем узлы повторяются по длине волны в направлении к генератору через расстояние $l = \lambda/2$. При разомкнутой линии

(рис. 1- в) картина аналогична предыдущей, с тем отличием, что в конце линии образуется пучность напряжения, а первый узел возникает в сечении $l_0 = \lambda/4$.

Если линия нагружена чисто реактивным сопротивлением, то при индуктивной нагрузке первый узел напряжения установится на расстоянии $l_0 > \lambda/4$ от места включения нагрузки, а при ёмкостной – на расстоянии $l_0 < \lambda/4$ (Рис. 1- г, д)

Режим смешанных волн устанавливается при нагрузке линии активным сопротивлением, не равным волновому сопротивлению линии, или произвольным комплексным сопротивлением. При этом режиме амплитуда падающей волны больше амплитуды отраженной, энергия переносится в сторону нагрузки и часть её поглощается последней (Рис. 1, г, д, е, ж, з, и).

Очевидно, что режим бегущей волны присущ только согласованным цепям. Степень рассогласования можно определить по отношению величин U_{min} и U_{max} . Если $U_{min} = 0$, то вся энергия отражается от конца линии и в последней устанавливается стоячая волна. Если $U_{min} = U_{max}$, то вся энергия поглощается в нагрузке и в линии возникает бегущая волна. Если $U_{min} < U_{max}$, в линии устанавливается режим смешанных волн. В соответствии с этим коэффициент стоячей волны может принимать значения от 1 до ∞ .

Измерительной линией называется устройство для определения электрического поля вдоль линии передачи. Независимо от конструкции любая измерительная линия состоит из двух главных частей: основной линии и индикаторной головки (Рис. 2).

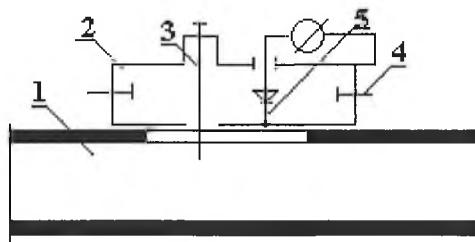


Рис. 2. Схема измерительной линии:

- 1 - Основная волноводная линия, 2 - Индикаторная головка, 3 - Зонд, 4 - Настроочные поршни, 5 - Детектор с выводом на регистрирующий прибор.

В качестве основной линии используется отрезок стандартной волноводной линии длиною около трех длин волн с узкой продольной щелью, вдоль которой перемещается индикаторная головка. Этот отрезок включается между генератором и линией передач или генератором и нагрузкой. Индикаторная головка представляет собой объемный резонатор, слабо связанный с основной линией и погруженным в нее зондом. В резонаторе кроме зонда помещается кристаллический детектор и настроочные поршни.

Электрическое поле СВЧ основной линии наводит в зонде э.д.с., которая возбуждает в резонаторе электромагнитные волны, индуцирующие ток в цепи детектора. При помощи измерительной линии можно измерять коэффициенты стоячей или бегущей волн, полные сопротивления, потери в данных линиях и пр.

Измерение КСВН значительно упрощаются при использовании автоматических панорамных измерителей, в состав которого входят генератор СВЧ волн, рефлектометр и индикатор - И (рис.3). СВЧ колебания проходят от генератора к нагрузке через рефлектометр, представляющий собой два направленных ответвителя, на выходе которого получаются напряжения, пропорциональные значениям энергии падающей и отраженной волн. Отношение этих напряжений пропорционально КСВН.



Рис. 3. Схема панорамного измерителя

3. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.

3. 1. Измерительная цепь.

В данной работе для определения КСВН и S используется измеритель КСВН панорамный Р2-60, в состав которого входят следующие блоки и узлы:

- индикатор КСВН и ослабления Я2Р-67;
- генератор качающейся частоты ГКЧ-60;
- коаксиально-волноводный переход;
- направленные детекторы падающей и отраженной волн;
- согласованная нагрузка и короткозамыкатель

Схема включения блоков приведена на рис. 4 - а, 4 - б.

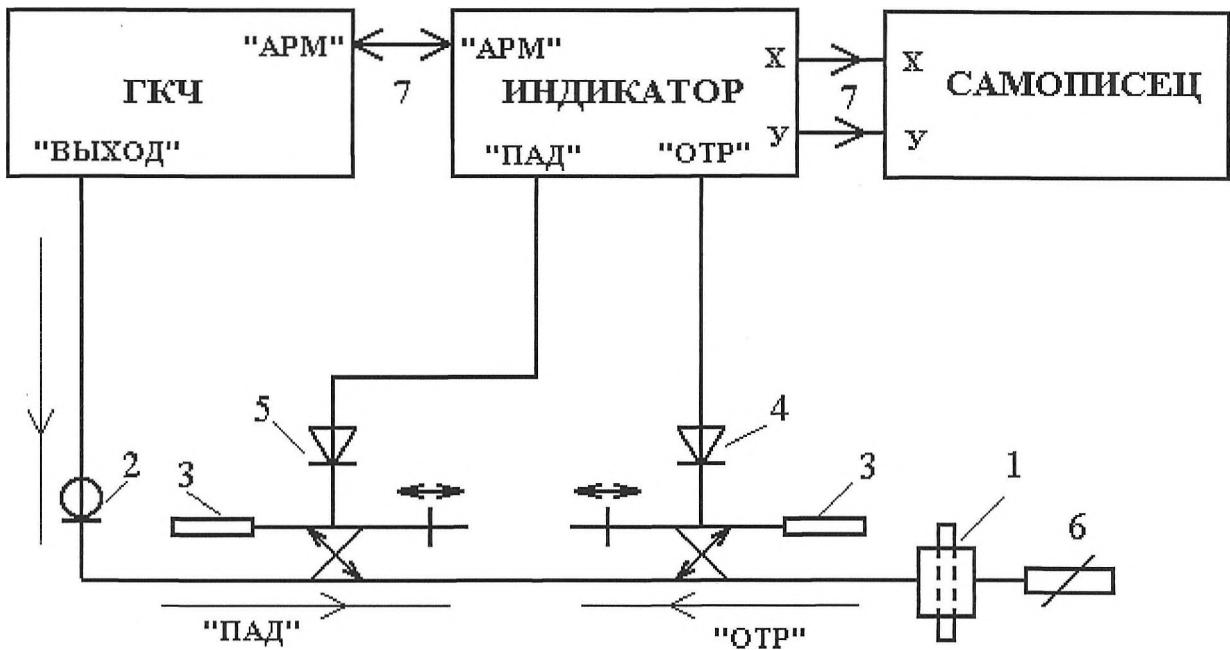


Рис. 4-а. Блок-схема измерительной цепи для определения КСВН.

1 - Измеряемый объект, 2 - Переход с ГКЧ на волновод, 3 - Поглотитель, 4 - Детектор направленный “Падающая”, 5 - Детектор направленный “Отраженная”, 6 - Согласованная нагрузка, 7 - Соединительные кабели.

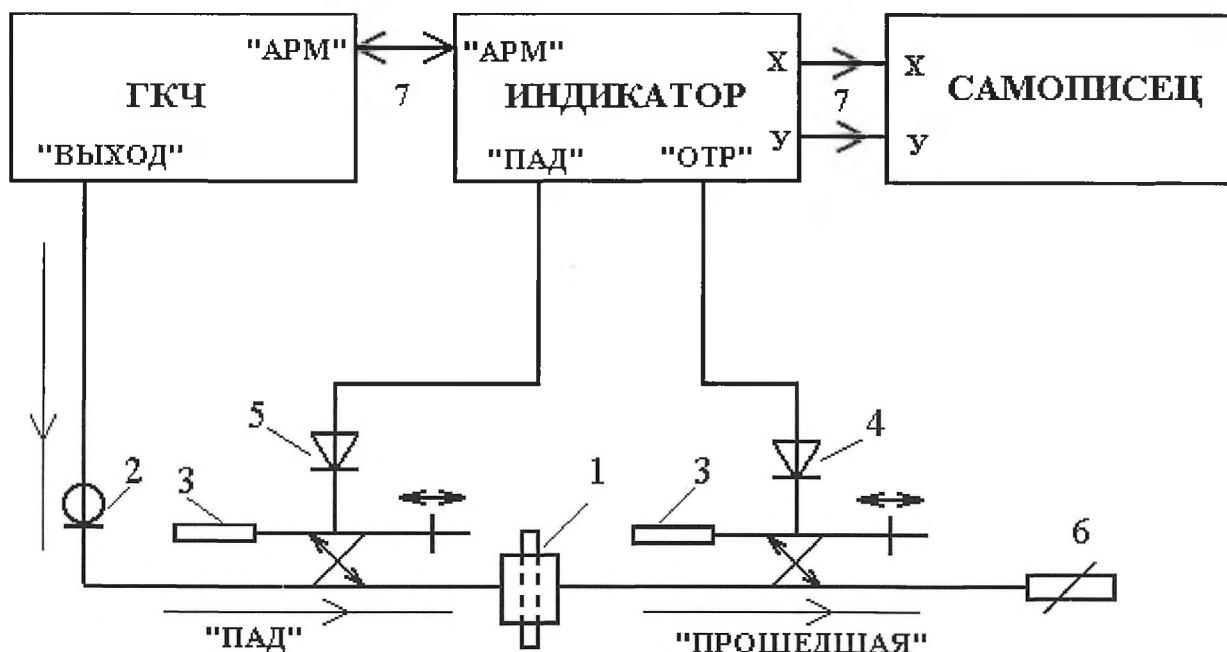


Рис. 4-б. Блок-схема измерительной цепи для определения S .

1 - Измеряемый объект, 2 - Переход с ГКЧ на волновод, 3 - Поглотитель, 4 - Детектор направленный “Падающая”, 5 - Детектор направленный “Отраженная”, 6 - Согласованная нагрузка, 7 - Соединительные кабели.

Работа измерителя основана на принципе рефлектометра - раздельного выделения сигналов, пропорциональных мощности падающей от генератора и отраженной от измеряемого объекта (при определении КСВН) или прошедшей через измеряемый объект (при измерении ослабления) волн. Сигналы, пропорциональные падающей и отраженной мощностям снимаются с детекторных головок, встроенных во вторичных трактах направленных детекторов.

Коэффициент отражения определяется как отношение по формуле

$$\Gamma = \sqrt{\frac{U_{\text{отраж}}}{U_{\text{пад}}}} \quad (4)$$

Где Γ – модуль коэффициента отражения по напряжению; $U_{\text{отраж}}$ – амплитуда продетектированного напряжения отраженной волны; $U_{\text{пад}}$ - амплитуда продетектированного напряжения падающей волны;

Коэффициент стоячей волны КСВН связан с коэффициентом отражения соотношением

$$KCBH = \frac{1 + \Gamma}{1 - \Gamma} \quad (5)$$

Основное назначение генератора – генерирование высокочастотного сигнала с изменяющейся частотой и стабилизированной выходной мощностью. Индикатор КСВН и ослабления Я2Р-67 позволяет наблюдать на экране электронно-лучевой трубы частотные характеристики КСВН и ослабления и производить отсчет измеряемых величин по шкалам отсчетного устройства. Работа рефлектометра основана на свойстве направленного детектора выделять сигнал СВЧ, распространяющийся в одном направлении, и не реагировать на противоположно направленный сигнал. Для получения идентичных частотных характеристик направленных детекторов в детекторных концах имеется подстройка в виде подвижных коротко замыкающих плунжеров.

Волноводные направленные детекторы представляют собой два волновода, имеющих общую широкую стенку с двумя рядами отверстий связи. Первичный волновод с обеих сторон оканчивается фланцами. Во вторичном волноводе в одном конце расположен поглотитель (согласованная нагрузка) в виде пирамиды, в другом расположена встроенная детекторная головка с диодом 2А203А и подвижный плунжер. Согласованная нагрузка представляет собой отрезок волновода с фланцем на одном конце и с поглотителем на другом.

Из принципа работы всего комплекта следует, что в индикаторе должно существовать усиление напряжений падающей и отраженной волн (на частоте модуляции СВЧ

сигнала), деление их, детектирование, визуальная индикация на экране ЭЛТ и непосредственный отсчет по шкале устройства. Кроме этого, в индикаторе имеются схемы, обеспечивающие логарифмический режим работы, компенсацию неидентичности частотных характеристик СВЧ трактов, индикацию частотной метки, а также выдачи управляющих сигналов при работе с цифровым блоком.

3. 2. Порядок выполнения работы.

Подготовить для измерений различные виды нагрузок (водопроводная вода, дистиллированная вода, анализ, католит, согласованная нагрузка). Собрать измерительный тракт в соответствии со схемой измерения для каждого коэффициента.

Подготовка к проведению измерений

1. Предварительная регулировка измерителя

- убедитесь, что все блоки и узлы СВЧ соединены согласно схеме (рис. 4 - а, б). Включите индикатор и генератор, дайте им прогреться в течении 15 мин;
- отрегулируйте поворотом осей потенциометров 0, 1, -, УСИЛЕНИЕ X яркость, фокусировку, положение и длину линий развертки так, чтобы линии по горизонтали занимали полностью рабочую часть экрана, а по вертикали нижняя линия развертки была на 5–10 мм выше нижней границы рабочей части экрана ЭЛТ;
- нажмите кнопку F_1 , F_0 переключателя отсчетного и ручкой F_1, F_0 установите по табло ГКЧ нижнюю частоту полосы качания;
- нажмите кнопку F_2 , F_Δ переключателя отсчетного и ручкой F_2, F_Δ установите по табло ГКЧ верхнюю частоту полосы качания;

2. Установка уровня мощности ГКЧ:

- поставьте тумблер СВЧ в положение “включено”;
- установите ручкой ОТСЧЕТ визир по шкале мВ на 2 мВ;
- совместите ручками УРОВЕНЬ на ГКЧ и ПАД. на индикаторе линию падающей мощности, наблюдаемую на экране ЭЛТ, с линией электронного визира. Получите на экране ЭЛТ ровную линию без резких выбросов.

3. Регулировка амплитуды и положения частотных меток:

- убедитесь, поворачивая поочередно ручки АМПЛИТУДА М1, М2 и МЕТКА, в возможности регулирования амплитуды меток в пределах 0-5 мм, после чего установите удобную для работы амплитуду;
- совместите ручками М1 и М2 метки с началом и концом наблюдаемой на экране линией развертки.

4. Панорамное измерение КСВН в полосе частот:

- соберите измеритель в соответствии с Рис. 4 - а и установите исследуемый объект;
- установите переключателем ВР. ПЕРЕСТРОЙКИ S желаемый период перестройки 0,08; 1; 10; 40 с.
- переключатель ПРЕДЕЛЫ поставьте в положение, при котором характеристика КСВН располагается вблизи середины экрана ЭЛТ;
- совместите ручкой ОТСЧЕТ линию электронного визира на экране ЭЛТ с интересующей точкой на характеристике КСВН и по шкале КСВН отсчетного устройства индикатора отсчитайте измеренное значение;
- для определения частоты, соответствующей интересующей точке наблюдаемой характеристики КСВН, нажмите кнопку М1, ручкой М1 совместите частотную метку с этой точкой и по табло ГКЧ отсчитайте значение частоты.

5. Панорамное измерение S в полосе частот:

- соберите измеритель в соответствии с Рис. 4 - б и установите исследуемый объект;
- проведите измерения коэффициента ослабления по аналогии с измерениями КСВН

6. Подготовка к работе самопишущего прибора Н307:

- подключите кабель сетевого питания; установите блоки X У на вход каждой координаты; переменный резистор УСТ.0 установите в среднее положение; кнопки ВКЛ. Отжаты (в выключенном положении); на поле регистрации положите диаграммный бланк; включите прибор кнопкой СЕТЬ, нажмите кнопку ДИАГР, и прогрейте прибор в течении 30 мин.
- выставить ручками «УСТ. 0» на блоках развертки X и Y нулевой уровень и прочертить координатные линии; установите требуемый масштаб регистрации с помощью кругового переключателя, при необходимости калиброванного смещения входного сигнала нажмите кнопки СМЕЩЕНИЕ, % «100» или

«200». Знак смещения определяется кнопкой «±» (в отжатом положении положительное смещение, в нажатом - отрицательное)

- подключить соединительные кабели от измерителя панорамного КСВН к соответствующим гнездам самописца (Х, У). Включите вход прибора по проверяемой координате кнопкой ВКЛ. Опустите перо нажатием кнопки ПЕРО, подайте измеряемый сигнал и проведите регистрацию процесса.

3. 3. Контрольные вопросы.

1. Какие режимы распространения электромагнитных волн СВЧ могут установиться в волноводной линии передач?
2. Объяснить устройство направленных ответвителей.
3. Объяснить принцип работы рефлектометра.
4. Как в данной работе осуществляется измерение КСВН и S ?

ЛИТЕРАТУРА.

1. Кушнир Ф. В., Савенко В. Г. Электрорадиоизмерения. - Л.: "Энергия", 1975 г. - 368 с.
2. Хиппель А. Р. Диэлектрики и волны. - М.: изд-во иностранной литературы, 1960 г. - 438 с.
3. Харвей А. Ф. Техника сверхвысоких частот. т. 1. - М.: изд-во "Советское радио", 1965 г. - 783 с.
4. Паспорт и техническое описание к приборам:
 - измеритель КСВН панорамный Р 2 - 60;
 - индикатор КСВН и ослабления Я 2 Р - 67;
 - генератор качающейся частоты ГКЧ - 60;
 - прибор сомопищащий двухкоординатный Н - 307.

Допускается к защите

заведующий кафедрой Биомедфизики,

к.ф.-м.н., Широносов В. Г

«13» 06 2002 г.


подпись

Научный руководитель

заведующий кафедрой Биомедфизики,

к.ф.-м.н., Широносов В. Г

«13» 06 2002 г.


подпись

Рецензент

главный научный сотрудник ФТИ УрО РАН,

д.т.н. Захаров В. А.

«13» 06 2002 г.

