

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра медицинской физики
наименование кафедры

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ
НЕОДНОРОДНОСТИ МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА ЗУБОВ, С ПОМОЩЬЮ
СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНОГО АВТОДИНА, РАБОТАЮЩЕГО В
БЛИЖНЕПОЛЕВОМ РЕЖИМЕ

АВТОРЕФЕРАТ
ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ МАГИСТРА

студентки 2 курса 2221 группы

направления 03.04.02 «Физика», профиль «Медицинская физика»

Института физики

Горюновой Марины Николаевны

Научный руководитель

доцент, к. ф.-м. н.
должность, ученая степень, уч. звание

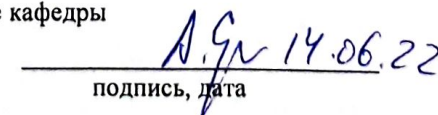


14.06.2022
подпись, дата

А. Э. Постельга

Зав. кафедрой медицинской физики

д.ф.-м.н., профессор
полное наименование кафедры
должность, ученая степень, уч. звание



подпись, дата

А. В. Скрипаль

Саратов 2022 г.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ

СВЧ – сверхвысокочастотное излучение

ОКТ – оптическая когерентная томография

УФ-излучение – ультрафиолетовое излучение

КОСРЭ-тест – клиническая оценка скорости реминерализации эмали зубов

ЛПД – лавинно-пролётные диоды

ИПД – инъекционно-пролётные диоды

ТД – туннельные диоды

ДГ – диоды Ганна

КПД – коэффициент полезного действия

АЦП – аналого-цифровой преобразователь

КВП – коаксиально-волноводный переход

ЭВМ – электронно-вычислительная машина

ВВЕДЕНИЕ

Заболевания полости рта являются на данный момент актуальной проблемой здравоохранения во всех странах мира. Стоматологическое здоровье основательно воздействует на качество жизни людей и общества в целом. Несмотря на быстрый прогресс стоматологического здоровья жителей ряда стран, глобальные трудности в общественном здравоохранении все еще остаются.

Так, кариес зубов, заболевания пародонта, выпадения зубов, состояния полости рта, а также травматические поражения зубов до сих пор остаются ключевыми стоматологическими заболеваниями. Во всем мире наблюдается рост кариеса, так, например, в экономически развитых странах пораженность зубов кариесом составляет 90%.

Зуб – это полноценный орган человека, у которого есть свое строение и форма, состоящий из специальной ткани с собственным нервным аппаратом, имеет кровеносные и лимфатические сосуды. У зубов есть три основные функции: механическая обработка пищи, артикуляция речи и эстетическая функция.

Отрицательное воздействие на состояние организма оказывает неудовлетворительная гигиена полости рта. Присутствие боли и дискомфорта, проблемы, связанные с пережевыванием пищи, улыбкой и общением в итоге потери, изменения цвета или повреждения зубов, существенно воздействуют на повседневную жизнь и комфорт населения. Поэтому так важно диагностировать повреждение зубных тканей, как можно раньше для сохранения здоровья полости рта.

На выбор подходящего метода диагностики влияет локализация исследуемой области: гладкие поверхности, проксимальные участки, фиссуры, корень зуба. Для определения состояния зубов лучше всего использовать методы, которые позволяют получать количественные, воспроизводимые и легко интерпретируемые данные, а также исключают угрозу повреждения тканей. В связи с этим **цель** данной работы:

разработка методики определения степени неоднородности минерального состава зубов с помощью СВЧ-автодина, работающего в ближнеполевом режиме.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

- Провести критический анализ литературы по современной диагностике определения степени неоднородности минерального состава зубов и о использовании СВЧ-автодинов в медицине;
- Выполнить сравнительный анализ методов диагностирования неоднородностей минерального состава зуба;
- Разработать методику определения степени неоднородности минерального состава зубов с помощью СВЧ-автодина, работающего в ближнеполевом режиме;
- Провести экспериментальное исследование неоднородности минерального состава;
- Проанализировать полученные экспериментальные данные и сделать выводы.

Новизна и научно-практическая значимость работы заключается в том, что в настоящее время огромное количество людей подвержено заболеваниям полости рта и повреждениям эмали зубов, поэтому так необходимы методы для раннего диагностирования, а методика определения степени неоднородности минерального состава зубов с помощью СВЧ-автодина, работающего в ближнеполевом режиме, можно использовать в стоматологии наравне с уже имеющимися методами.

1. АНАТОМИЯ ЗУБОВ ЧЕЛОВЕКА

1.1 Строение полости рта

Границы полости рта составляют: спереди — губы; сзади — мягкое нёбо и условная плоскость, проведенная через задние небные дужки (здесь проходит граница между полостью рта и полостью глотки), сверху — твердое нёбо, отделяет ее от полости носа; снизу — диафрагма дна полости рта и мышцы языка; с боков — слизистая оболочка щек (рис. 1). Составные части преддверья рта: спереди — губы, с боков — щеки, сзади — покрытые десной альвеолярные отростки челюстей и зубы.

В полости рта располагаются важные органы: зубы, язык, слюнные железы и слизистая оболочка рта.

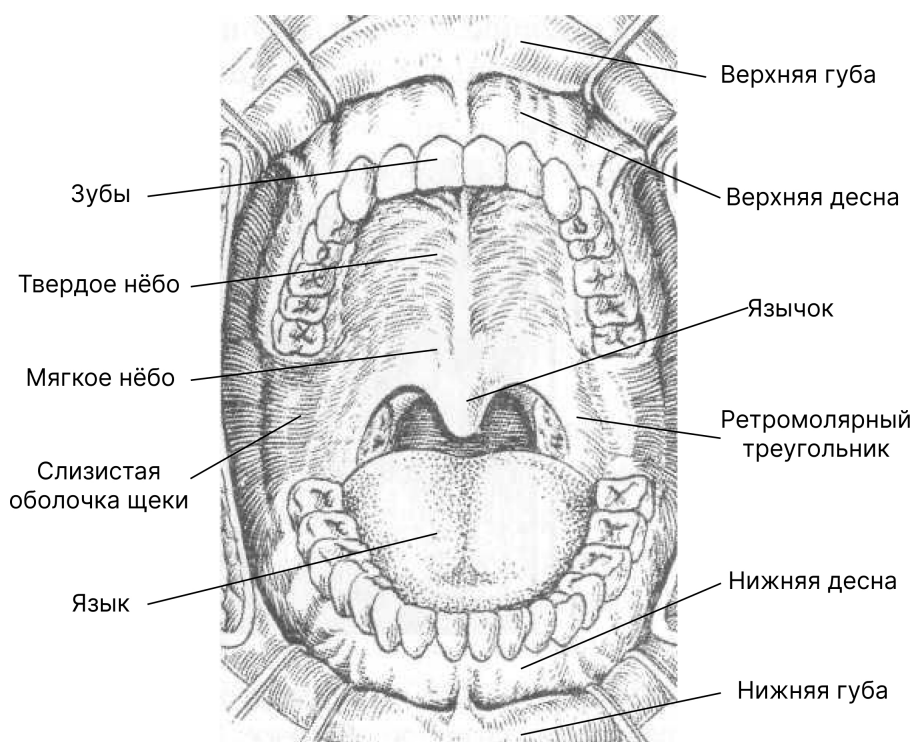


Рисунок 1 - Строение полости рта

У зубов есть ряд основных функций, а именно откусывание, размельчение и перетирание пищи, участие в формировании звуков. Зуб находится в альвеолярном отростке челюсти, состоит из зубной эмали, дентина, зубного цемента и мягких тканей (пульпа зуба). [1]

Полость внутри зуба состоит из пульпарной камеры и корневого канала зуба. Через апикальное отверстие в верхушке корня в зуб идут сосуды, обеспечивающие питание (трофику), а также нервы, осуществляющие иннервацию зуба.

Зубы делятся на 4 типа:

- Резцы — передние зубы, служат для захватывания и разрезания пищи;
 - Клыки — конусовидные зубы, служат для разрывания и удержания пищи;
 - Премоляры (малые коренные);
 - Моляры (большие коренные) — задние зубы, которые служат для перетирания пищи, имеют чаще три корня на верхней челюсти и два — на нижней.
- [2]

1.2 Зубочелюстная система человека как единое целое

В челюстях зубы образуют зубные дуги. Зубная дуга — линия, проведенная через вестибулярные края режущих поверхностей коронок.

Зубные дуги образуют единую функциональную систему, а за ее устойчивость и единство обеспечивается за счет альвеолярных отростков, пародонта и порядком расположения зубов. Из-за формы дуг формируется индивидуальное положение зубов и прикус.

У соседних зубов на выпуклых участках около режущих поверхностей соприкосновения расположены контактные фасетки. Наличие межзубных контактов позволяет при жевании распределить давление на соседние зубы, и так уменьшается нагрузка на отдельные корни зубов. В процессе функционирования контактные пункты из-за стирания эмали увеличиваются, это связано с физиологической подвижностью зубов.

Поверхность, которая образована жевательными поверхностями коренных и режущими краями передних зубов, называют окклюзионной. На протяжении функциональной приспособляемости окклюзионная поверхность приобретает дугообразное искривление с выпуклостью дуги в сторону нижней челюсти.

Сагиттальная окклюзионная линия – это линия, проведенная через окклюзионную поверхность. [3]

Окклюзия - положение зубных рядов в стадии их смыкания. Существует 4 вида окклюзии:

- Центральная;
- Передняя;
- Две боковые.

Центральная окклюзия образуется при срединном смыкании зубных рядов и при физиологическом контакте зубов-антагонистов.

Антагонистами называют соприкасающиеся один с другим зубы верхней и нижней челюстей. Каждый зуб имеет по 2 антагониста. Исключение составляют медиальный нижний резец и третий верхний моляр. Главные антагонисты - одноименные соприкасающиеся зубы, а частично соприкасающиеся разноименные - побочные антагонисты. (рис. 2)

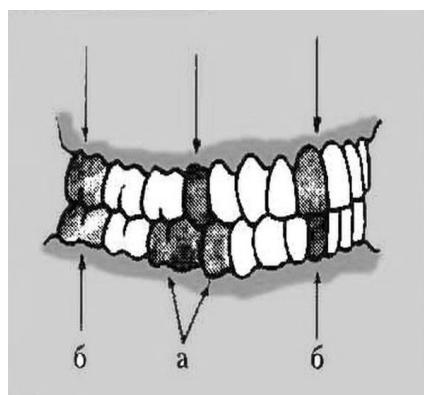


Рисунок 2 - Каждый зуб смыкается с двумя зубами - антагонистами (а). Кроме нижних центральных резцов и верхних последних зубов у них по одному антагонисту (б)

Центральная окклюзия, когда происходит срединное смыкание зубных рядов и физиологический контакт зубов-антагонистов. Передняя окклюзия имеет срединное смыкание зубных рядов, нижний зубной ряд выдвинут. Боковая окклюзия характеризуется сдвигом нижней челюсти влево или в право, зависит от с

какой стороны находится окклюзия. Анализы окклюзии зубов помогают в конструировании зубных протезов. [4]

1.3 Наружное строение зуба

Составные части зубов (рис.3):

1. Коронка – это утолщенная часть зуба, которая выступает из зубной альвеолы, покрыта эмалью.
2. Шейка – это суженная часть зуба, которая расположена между коронкой и корнем.
3. Корень – это часть зуба, которая находится внутри зубной альвеолы.

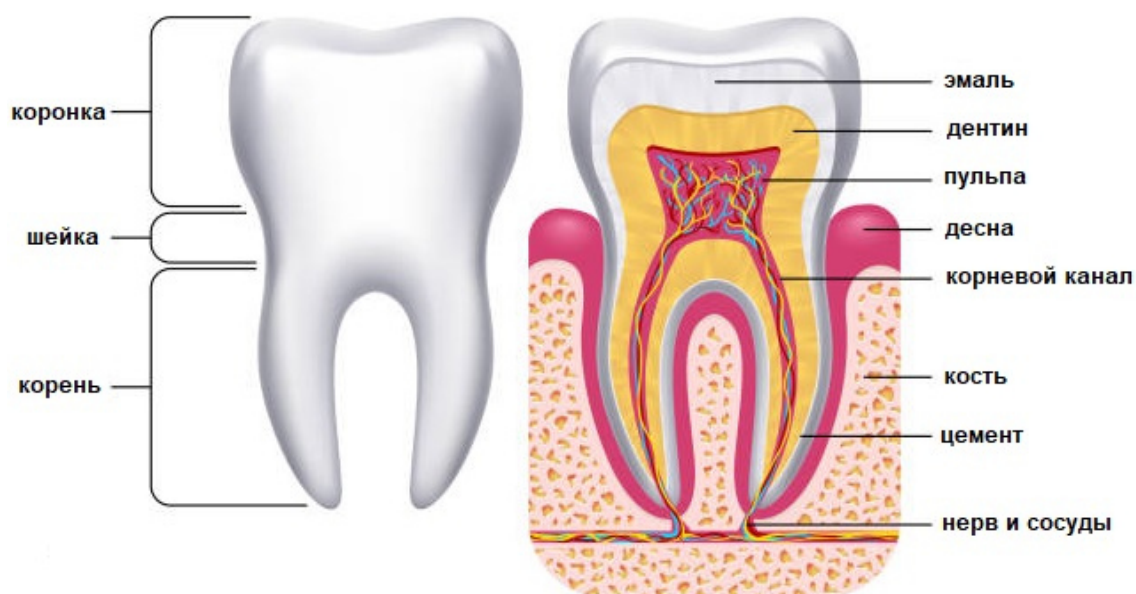


Рисунок 3 - Общее строение зуба

Основу зуба составляет дентин. Дентин покрыт эмалью в области коронки, а в области корня покрыт цементом. Между коронкой и корнем находится шейка — место, где соединяется видимая часть зуба с десной. Шейка наиболее уязвимая часть для различных повреждений, так как имеет тонкий эмалевый слой и подвержена кариесу и некариозным дефектам. [5]

1.4 Поверхности зуба

У коронки имеется четыре стороны (рис.4):

- Оклюзионная — это жевательная поверхность или режущий край у резцов, у клыков - рвущий бугор. Характерной особенностью щечных и небно-язычных поверхностей коронок всех зубов является наличие выпуклости, которая называется экватором. Экватору зуба отводится роль защиты десневого края от механического повреждения пищей;
 - Вестибулярная (щечная) — это внешняя, видимая поверхность зубов;
 - Апроксимальная (контактная) — это поверхность, контактирующая с соседними стенками. При этом передняя поверхность, обращённая к срединной линии - медиальная, а задняя — латеральная или дистальная;
 - Лингвальная и небная — это внутренние поверхности зубов, язычная для нижней челюсти и небная у верхней.
 - Скрытая часть зуба — это корень, находящийся в лунке кости челюсти.
- В зависимости от типа зуба, количество корней бывает от 1 до 4-5.

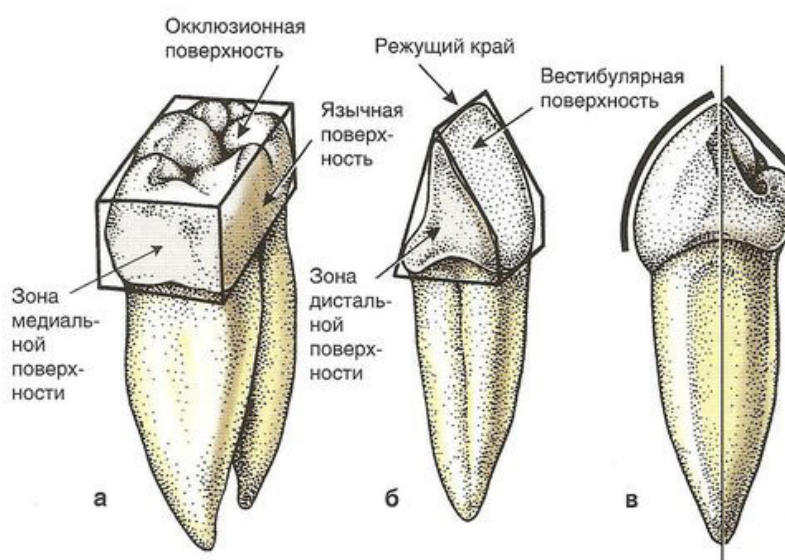


Рисунок 4 - Поверхности коронки зуба. (а) – поверхности, (б) – край, (в) – ось

1.5 Гистологическая характеристика зубов

Зуб состоит из твердой и мягкой ткани. К твердой ткани относят - эмаль, дентин, цемент (табл.1), а к мягкой ткани относится пульпа. Пульпа представляет собой рыхлую соединительную ткань, наполненную клеточными элементами, нервами и сосудами. Различают пульпу коронки и пульпу корня. В коронке пульпа (заполняет полость зуба) повторяет ее форму, а в корне зуба она имеет вид канала.

	Кальций	Магний	Фосфор	Карбонаты	Вода	Органические соединения
Эмаль	36,0-36,7	0,45	17,0	2,5	3,8	0,3-1,3
Дентин	27,0	0,40	13,0	3,3	10,0	20,0
Цемент	30,0	0,45	15,0-17,0	3,0-4,0	12,0	20,0-36,0

Таблица 1. Химический состав эмали, дентина и цемента, % от массы. [6]

Дентин (первичная ткань зуба). Специальная ткань зуба, где отсутствуют клетки. Он состоит из отростков клеток: одонтобластов и основного вещества. Он обладает высоким количеством дентинных канальцев. Основное вещество дентина состоит из коллагеновых волокон и склеивающего их вещества и лежит между канальцами. Цвет дентина - светло-желтый, он прочнее кости и цемента, но в 4 раза мягче эмали и обладает некоторой эластичностью. Зрелый дентин содержит:

1. 70% неорганических веществ (преимущественно гидроксиапатита);
2. 20% органических (в основном коллагена I типа);
3. 10% воды.

Дентин препятствует растрескиванию более твердой, но хрупкой эмали, которая покрывает его в области коронки.

Существует 2 вида дентина:

- Наружный – плащевой;
- Внутренний – околопульпарный.

К функциям дентина относят защитную, трофическую и сенсорную.

Эмаль. Состоит из эмалевых призм – тонкие удлиненные образования, идущие волнообразно через всю толщу эмали. Функция эмали заключается в сохранении здорового минерального состава зубов и в защите дентина и пульпы от внешних химических, физических, температурных раздражителей. Эмалевая призма – главная структурно-функциональная единица эмали. Эмалевые призмы пронизывают пучками всю толщу эмали радиально, их форма несколько изогнутая в виде буквы S. Плотно уложенные гидроксиапатит – $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ и восьмикальциевый фосфат – $\text{Ca}_8\text{H}_2(\text{PO}_4)_6 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ составляют эмалевые призмы. Толщина слоя эмали:

- в области жевательных бугров постоянных зубов - 2,3 - 3,5 мм;
- на контактных поверхностях постоянных зубов она обычно равна 1- 1,3 мм;
- в области фиссурной складки на молярах толщина эмали не превышает 0,50-0,62 мм;
- временные зубы имеют слой эмали, не превышающий 1 мм;
- самый тонкий слой эмали 0,01 мм покрывают шейку зуба.

Эмаль является самой твердой тканью тела человека и содержание минеральных солей в ней составляет 97%.

С наружной поверхности эмаль покрыта тонкой оболочкой - пелликулой. Пелликула – это органическая оболочка на поверхности эмали, производная мукополисахаридов слюны. Пелликула выполняет защитную роль и устойчива к действию кислот.

Цемент. Зубной цемент представляет собой высокоминерализованную ткань, по структуре он напоминает грубоволокнистую кость. Цемент покрывает тонкий слой от корня зуба до его шейки. В составе цемента неорганические компоненты составляют около 65 % — в основном карбонат кальция и фосфат кальция. Органические компоненты - около 23 % и практически полностью состоят из коллагена; и около 12 % в составе цемента составляет вода.

Основная функция цемента: формирование пародонтального прикрепления, который удерживает зуб в лунке и помогает перераспределять жевательное давление от зуба к альвеолярной кости.

Периодонт. Прослойка соединительной ткани, которая расположена между костной альвеолой и цементом. Периодонт состоит из трех видов пучков коллагеновых волокон, которые идут от стенки лунки к цементу.

Волокна образуют совокупность структур для обеспечения прикрепления зуба к зубной альвеоле и составляют поддерживающий аппарат зуба (пародонт).

Пародонт – это комплекс тканей, который имеет генетическую и функциональную общность: периодонт, кость альвеолы, десна и цемент корня зуба.

Функции пародонта:

1. удерживать зубы в кости челюсти;
2. обеспечивать межзубную связь в зубной дуге;
3. сохранять эпителиальную оболочку полости рта на участках прорезавшегося зуба.

Пульпа зуба. Пульпа зуба - специализированная рыхлая волокнистая соединительная ткань. Эта ткань наполняет пульпарную камеру коронки и канал корня. Функции пульпы:

- пластическая - участие в образовании дентина, с помощью деятельности находящихся в ней одонтобластов;
- трофическая - обеспечивает трофику дентина за счет сосудов;
- сенсорная - за счет большого количества нервных окончаний;
- защитная и репаративная – за счет выработки третичного дентина, развития гуморальных и клеточных реакций.

Здоровая и неповрежденная пульпа зуба необходима для нормальной функции зубов. Но депульпированный зуб может в течение какого-то времени продолжать нести жевательную нагрузку, хотя он становится недолговечным и хрупким. [7]

2. СВЧ-АВТОДИНЫ, РАБОТАЮЩИЕ В БЛИЖНЕПОЛЕВОМ РЕЖИМЕ, ИХ ОСОБЕННОСТИ И ПРИМЕНЕНИЕ

В современном мире технологий имеет большую актуальность непрерывный бесконтактный контроль за разными параметрами, например, за параметрами технологического процесса или материалов и различных сред, за состоянием оборудования. Поэтому для таких измерений начали использовать эффект автодинного детектирования в полупроводниковых приборах. Они позволяют измерять толщину, диэлектрическую проницаемость, скорость течения жидкости, скорость потока крови, скорость движения глаз, фотопроводимость, электропроводность и другие параметры исследуемых объектов, не разрушая поверхность образцов. [33,34]

У радиоволновых методов измерения разных параметров имеются недостатки: относительно невысокая чувствительность к изменению определяемых параметров, низкая локальность измерений. Данные недостатки способно исключить ближнее СВЧ-поле. Исследовать образцы, которые находятся в близости с излучением СВЧ-поля и взаимодействуют с ближним полем, в таких системах дает возможность значительно повысить локальность измерений. Это связано с длиной волны: длины высших типов меньше длин волн основного типа колебаний. [35]

Автодины - приёмопередающие устройства, состоят из автогенератора и средств выделения автодинного отклика. Действие приборов основано на автодинном эффекте, а то есть изменение параметров колебаний генератора под воздействием собственного отражённого от объекта излучения. Автогенератор выполняет сразу две функции радиопередающее устройство и приемник сигнала. Преимущество данных устройств заключается в их простой конструкции, что обеспечивает их низкую стоимость, в их большом количестве приёмопередающих модулей и в малых габаритах.

Эффект автодинного детектирования основан на установлении зависимости величины протектированного СВЧ-сигнала от параметров величин, которые контролируются. Проявление эффекта детектирования можно считать изменение

режима их работы по постоянному току. Если прибор имеет отрицательное сопротивление и является активным элементом СВЧ-генератора, регистрируется эффект автодинного детектирования.

СВЧ-автодин – многофункциональная и сложная СВЧ-система, в которой реализуется эффект автодинного детектирования, то есть активный элемент СВЧ-генератора одновременно является источником и приемником отраженной электромагнитной волны. [36]

СВЧ-автодин, работающий в ближнеполевом режиме широко используется для изучения различных поверхностей и структур, например, для выявления неоднородностей, мелких дефектов или для изучения подповерхностных структур разных сред. Такая диагностика может применяться в области медицины и биологии, благодаря своей высокой чувствительности и проникающей способности.

Восстановление формы сложного и непериодического движения отражателя осуществляется по методике одновременного измерения интерференционного сигнала и его производной. Переменная интерференционного сигнала имеет вид:

$$I(t) = A \cos\left(\theta + \frac{4\pi}{\lambda} f(t)\right),$$

где A – амплитудный коэффициент, определяемый амплитудами токов, наводимых в нагрузке Е-плеча волноводного тройника отраженными волнами;

t – время, с;

θ – начальная фаза сигнала;

λ – длина волны зондирующего излучения, нм;

$f(t)$ – функция, характеризующая концентрацию минерального состава зуба.

[30]

Преимущество способа измерения СВЧ-автодинов с ближнем полем, заключается в том, что исследуемый образец находится под воздействием СВЧ-

мощности, а регистрация измерений производится на низкочастотной аппаратуре, которая имеет высокую точность и отличается простой эксплуатацией. [37]

В усилителях СВЧ детекторный эффект происходит на СВЧ-генераторах на (табл.3):

- биполярных транзисторах;
- лавинно-пролётных диодах (ЛПД);
- инжекционно-пролётных диодах (ИПД);
- туннельных диодах (ТД);
- диодах Ганна (ДГ).

<i>Диод</i>	<i>Мощность</i>
<i>ДГ</i>	десятки милливатт - единицы Ватт
<i>ИПД</i>	десятки милливатт
<i>ТД</i>	единицы и десятки микроватт
<i>ЛПД</i>	десятки ватт

Таблица 3. Диоды СВЧ-генераторов и их мощность.

Наиболее удобные для анализа - туннельные диоды, из-за их эквивалентной простой и точной схемы. ТД используют для создания маломощных автодинов в коротковолновой части сантиметрового диапазона.

Преимущество лавинно-пролётных диодов в высоком КПД (до 15%) и мощности колебаний. Но недостаток ЛПД - относительно высокий уровень шумов.

Инжекционно-пролётный диод имеет малую генерируемую мощность. Однако на ИПД наблюдается низкий уровень шумов и маленькое напряжение питания, что является достаточно хорошим преимуществом

Диод Ганна дает возможность предоставить улучшение в нескольких параметрах: выходная мощность, максимальная рабочая частота, потребляемая мощность питания, стабильность частоты. Появление постоянной составляющей напряжения, при воздействии на ДГ СВЧ-мощности на нагрузочном

сопротивлении, и величина составляющей зависит от величины нагрузочного сопротивления и уровня падающей СВЧ-мощности. Данный эффект используют для стабилизации параметров и для оценки величины электрической нагрузки на ДГ при увеличении уровней СВЧ-мощности. Для работы диодов Ганна не требуется высоких питающих напряжений, но их недостаток заключается в сравнительно низком КПД и в температурной нестабильности. [38]

В настоящей работе исследование неоднородности минерального состава зубов проводилось на СВЧ-автодине, работающем в ближнеполевом режиме на диоде Ганна.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе данной работы был проведен критический анализ литературы по современной диагностике определения степени неоднородности минерального состава зубов и о использовании СВЧ-автодинов в медицине.

Выполнен сравнительный анализ методов диагностирования неоднородностей минерального состава зуба и предложена методика определения степени неоднородности минерального состава зубов с помощью СВЧ-автодина, работающего в ближнеполевом режиме, как дополнительный метод диагностирования в стоматологии.

Было проведено экспериментальное исследование на настоящих зубах добровольцев, также проведены измерения на мертвых образцах зубов с очевидными повреждениями эмали. Полученные экспериментальные данные были проанализированы и получены результаты в виде показателя среднеквадратичного отклонения.

Таким образом было показано, что методика определения степени неоднородности минерального состава зубов с помощью СВЧ-автодина, работающего в ближнеполевом режиме, может быть использована, как дополнительный самостоятельный метод диагностики в стоматологии.

Сфр - /Соронова М.Н.