

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

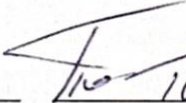
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра медицинской физики

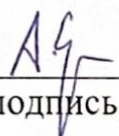
Взаимодействие СВЧ-излучения со сложными многослойными структурами
на примере тканей зуба
АВТОРЕФЕРАТ
БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Студентки 4 курса 4021 группы
Направления подготовки бакалавриата 03.03.02 «Физика»
Института физики
Гейт Олеси Давидовны

Научный руководитель

доцент кфтт, к.ф.-.м.н.		16.06.2025	А.Э. Постельга
должность, уч. степень, уч. звание	подпись, дата		инициалы, фамилия

Зав. кафедрой

профессор, д.ф.-.м.н.			А.В. Скрипаль
должность, уч. степень, уч. звание	подпись, дата	16.06.25	инициалы, фамилия

Саратов 2025

Содержание

Введение	3
Глава 1. Структура зубных тканей и методы их исследования	5
1.1 Гистология зубных тканей.....	5
1.2 Современные методы визуализации и анализа зубных тканей	11
1.3 Методы диагностики состояния зубных тканей.....	6
1.3.1 Люминесцентная диагностика	15
1.3.2 Томографическое обследование	17
1.3.3 Электрометрическоеобследование	18
1.3.4 Витальное окрашивание твердых тканей зубов	19
1.3.5 Термометрическое обследование зубов.....	20
1.4Диэлектрическая проницаемость зубных тканей.....	21
Глава 2. СВЧ-автодин, работающий в режиме ближнего поля, его особенности и применение	7
2.1Принцип работы СВЧ-автодина	7
2.2Эффект автодинного детектирования СВЧ-автодина на диоде Ганна.	26
2.3Использование коаксиального кабеля как зонда СВЧ-автодина, функционирующего в режиме ближнего поля	27
2.4Применение СВЧ-автодина	28
Глава 3. Экспериментальное исследование взаимодействия СВЧ- излучения со сложными многослойными структурами на примере тканей зуба.....	30
3.1 Экспериментальная установка для исследования взаимодействия СВЧ- излучения со сложными многослойными структурами на примере тканей зуба.....	30
3.2Особенности проведения эксперимента по исследованию взаимодействия СВЧ-излучения со сложными многослойными структурами на примере тканей зуба	33
3.3Результаты экспериментальных исследований	34
Заключение	9
Список использованной литературы	72

Введение

Здоровье полости рта занимает важное место в системе охраны здоровья человека. Согласно различным исследованиям, более 90 % взрослого населения сталкиваются с проблемами зубов и дёсен, а кариес остаётся одним из самых распространённых заболеваний твёрдых тканей зуба, начиная с разрушения эмали [1]. В полости рта ежедневно действуют такие негативные факторы, как кислоты, бактерии и ферменты, которые приводят к деминерализации эмали и прогрессированию кариозного процесса. При отсутствии своевременной диагностики начальных стадий кариеса часто развиваются осложнения — периодонтит, абсцессы, вплоть до потери зубов, что существенно снижает качество жизни.

Актуальность данной работы заключается в том, что исследование взаимодействия СВЧ-излучения с многослойной структурой зуба важно для разработки способа раннего обнаружения повреждений тканей зуба. Это позволяет своевременно проводить восстановление и сохранять эмаль в хорошем состоянии.

На сегодняшний день разработано множество различных методов оценки качества зубных тканей, таких как люминесцентная диагностика, томографическое обследование, электрометрическое обследование, витальное окрашивание твердых тканей зубов, термометрическое обследование. Однако общими их недостатками остаются высокая сложность реализации, технологическая громоздкость, дороговизна оборудования, низкая чувствительность, неспособность обнаружения начальных стадий кариеса, также преимущественная пригодность лишь для лабораторных или *invitro* условий. Поэтому сохраняется потребность в создании компактного и высокочувствительного метода, способного оперативно обнаруживать изменения в твёрдых тканях зуба без значительного дискомфорта для пациента.

Новизна настоящего исследования заключается в использовании СВЧ-автодина, работающего в ближнеполевом режиме, для диагностики состояния твёрдых тканей зуба. Данный подход ранее не применялся в стоматологической

практике, что подчёркивает оригинальность и перспективность предложенной методики.

СВЧ-автодин используется для изучения свойств различных материалов, включая зубные ткани. Он работает в режиме ближнего поля, что позволяет исследовать поверхностные и подповерхностные свойства объекта вплоть до микроструктуры, что делает данную установку перспективной для определения состояния зубов пациентов.

Целью бакалаврской работы является: показать особенности взаимодействия СВЧ-излучения со сложными многослойными структурами на примере тканей зуба и оценить возможности применения такого подхода для диагностики состояния зубных тканей.

Глава 1. Структура зубных тканей и методы их исследования

1.1 Гистология зубных тканей

Эмаль зуба:

Эмаль представляет собой самую твердую ткань человеческого организма с высокой степенью минерализации. Она полностью покрывает коронковую часть зуба и выполняет важную защитную функцию - предохраняет более глубокие ткани (дентин и пульпу) от повреждений механического характера, перепадов температуры и воздействия различных химических веществ. Благодаря эмали зуб приобретает свою окончательную форму и контур, что делает его устойчивым к нагрузкам при жевании и откусывании пищи. Формирование эмали происходит за счет специальных эпителиальных клеток - энамелобластов. Важно отметить, что после прорезывания зуба эти клетки исчезают, из-за чего эмаль теряет способность к самовосстановлению [2].

Химический состав эмали в основном представлен неорганическими веществами, главным образом гидроксиапатитом, что обуславливает ее высокую прочность при сложной внутренней структуре. Минеральные компоненты составляют примерно 95% всей массы эмали, в то время как вода и органические вещества присутствуют в значительно меньшем количестве (среди последних наиболее значимым является белок эмалин). Высокая минерализация обеспечивает эмали чрезвычайную прочность, но одновременно делает ее хрупкой - она подвержена образованию трещин и сколов, особенно при повреждении подлежащего дентина. Толщина эмали неодинакова на разных участках зуба: максимальных значений (1,5-1,7 мм) она достигает на жевательных поверхностях моляров, а минимальных (около 0,01 мм) - в области шейки зуба.

При микроскопическом исследовании видно, что эмаль состоит из эмалевых призм (или стержней) - удлиненных структур, образованных кристаллами гидроксиапатита. Эти призмы располагаются в основном перпендикулярно к поверхности зуба, что обеспечивает его механическую

стойкость. Каждая призма формируется благодаря работе четырех амелобластов. Эмалевые призмы плотно прилегают друг к другу, при этом их головки направлены вдоль длинной оси зуба, а хвостовые части располагаются под углом, что в совокупности обеспечивает устойчивость эмали к различным нагрузкам. Между призмами находится межпризменное вещество с меньшей степенью минерализации. В глубоких слоях эмали, особенно на границе с дентином, можно обнаружить участки беспризменной эмали — это связано с особенностями ее формирования.

1.2 Методы диагностики состояния зубных тканей

Для изучения патологических изменений и структурных нарушений зубных тканей применяется целый ряд методических подходов. Среди них особое место занимает система визуально-тактильного обследования зубного ряда. Процедура осмотра традиционно начинается с дистальных зубов первого квадранта, после чего исследование продолжается во втором квадранте и завершается обследованием четвертого квадранта. В ходе визуального анализа применяется стоматологическое зеркало, тогда как для тактильной оценки используется специальный зубной зонд.

Диагностика кариеса представляет собой комплексный процесс, объединяющий всю имеющуюся информацию о кариозных поражениях у конкретного пациента. Данный процесс охватывает разнообразные обследовательские подходы. Базовые методики опираются на клинический опыт и профессиональные навыки врача, не требуя применения сложного оборудования или специализированных устройств. Вспомогательные методы находят применение в затруднительных диагностических ситуациях или когда возникает такая потребность.

Глава 2. СВЧ-автодин, работающий в режиме ближнего поля, его особенности и применение

Развитие современных технологий выдвигает требования к созданию эффективных методов непрерывного мониторинга разнообразных характеристик без физического контакта с исследуемыми объектами. Сюда входят параметры технических процессов, свойства материалов различной природы, характеристики рабочих сред и техническое состояние оборудования. Решение подобных задач стало возможным благодаря применению автодинного детектирования в полупроводниковых устройствах. Данные приборы дают возможность определять толщину образцов, значения диэлектрической проницаемости, скоростные характеристики жидких потоков, параметры кровотока, динамику движения глазного яблока, фотопроводящие и электропроводящие свойства, а также множество других характеристик исследуемых материалов без нарушения целостности их поверхности.

Тем не менее, радиоволновые способы определения различных параметров обладают определенными ограничениями: сравнительно низкой восприимчивостью к колебаниям измеряемых величин и недостаточной локализованностью измерительных процедур. Данные ограничения возможно преодолеть посредством применения ближнего СВЧ-поля. Изучение образцов, расположенных в непосредственной близости от генератора СВЧ-поля и взаимодействующих с ближним полем, дает возможность существенно увеличить локализованность измерений, что способствует повышению точности и чувствительности измерительных процедур. Это объясняется тем, что длины волн высших типов колебаний значительно короче длин волн основного типа колебаний.

2.1 Принцип работы СВЧ-автодина

Ближнеполевая СВЧ-микроскопия представляет собой неразрушающую непосредственную методику исследования, которая дает возможность с высокой степенью локализации получать сведения о поверхностных и подповерхностных

характеристиках различных материалов. Подобная возможность обеспечивается за счет использования явлений "ближнего поля", которые возникают вследствие формирования квазистационарных полей, быстро ослабевающих по мере увеличения расстояния и концентрирующихся в области, размеры которой малы по сравнению с длиной волны, распространяющейся в электродинамической системе. Размещая изучаемый объект в зоне существования такого поля, можно исследовать распределение его электрофизических свойств с разрешением, которое намного меньше длины волны применяемого излучения. Пространственное разрешение в микроскопах такого типа определяется размерами острия зонда [26].

Автодины функционируют как приемопередающие системы, включающие автогенератор и компоненты для выделения автодинного отклика. При прямом соединении зонда ближнеполевого СВЧ-микроскопа с СВЧ-генератором без применения развязывающих элементов формируется автодинная конструкция, в которой проявляется эффект автодинного детектирования [27]. Данный эффект выражается в модификации амплитуды и частоты колебаний, а также в смещении электрических параметров (тока или напряжения) на электродах активного элемента, который определяет условия возникновения автоколебаний в резонансной системе автодина. В этом случае активный элемент СВЧ-генератора выполняет двойную функцию источника и приемника отраженной электромагнитной волны [28]. Фиксация этих изменений в форме автодинного сигнала и его последующая обработка обеспечивают получение данных об объекте локации и характеристиках его движения. Выделенный сигнал фиксируется либо в цепи питания СВЧ-генератора, либо внешним детектором, на который направляется часть генерируемой СВЧ-мощности. Применение автодинных систем позволяет разрабатывать измерители, характеризующиеся компактностью, малым весом, низким энергопотреблением, высокой измерительной точностью, простотой в использовании и доступной стоимостью.

Заключение

В ходе выполнения бакалаврской работы была достигнута поставленная цель — показать особенности взаимодействия СВЧ-излучения со сложными многослойными структурами на примере тканей зуба и оценить возможности применения такого подхода для диагностики состояния зубных тканей. Для реализации этой цели были успешно решены все поставленные задачи: