

На правах рукописи

БУСТИЛЬО ДИАС Марио Маурисио

**Исследование физических и технических принципов создания устройства для анализа состояния поверхности зуба и диагностирования**

Специальность: 05.13.05 - Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления

**АВТОРЕФЕРАТ**

Диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Санкт – Петербург – 2006

Работа выполнена на кафедре Автоматики и вычислительной техники в Государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет».

Научный руководитель                      доктор технических наук, профессор  
Мелехин Виктор Федорович.

Официальные оппоненты                      доктор технических наук, профессор  
Лыпась Юрий Иванович.

кандидат технических наук, доцент  
Аблязов Владимир Иванович.

Ведущая организация                      Медицинская Академия Последипломного  
Образования, г. Санкт-Петербург

Защита состоится «\_\_» \_\_\_\_\_ 2006 г. в \_\_ часов на заседании Диссертационного Совета Д 212.229.18 в ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет» по адресу: 195221, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29, 9 корпус ауд. 325.

С диссертацией можно ознакомиться в Фундаментальной библиотеке ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет».

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2006 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета

Шашихин В.Н.

## Общая характеристика работы

**Актуальность темы:** Существует потребность в создании высокотехнологичных автоматизированных систем диагностирования дефектов на эмали зубов на ранних стадиях заболевания, которые не требуют высокой технической подготовки врача стоматолога. Разрушение зуба начинается с мелких серых пятен. Из-за малых размеров выявить их визуально невозможно. Доступ к серым пятнам с инструментами, которыми владеют стоматологи, оказывается невозможным. В то же время выявление дефектов на ранних стадиях позволяет путем профилактического лечения восстанавливать эмаль и не допускать развитие заболевания.

Работа посвящена исследованию физических и технических принципов создания нового устройства (системы), включая разработку первичного и вторичного преобразователей информации. Первичный преобразователь обеспечивает безопасное получение первичных данных о состоянии поверхности. Вторичный – обработку этих данных с использованием формализованных знаний экспертов-врачей и современных информационных технологий для решения задач диагностирования и представления результатов в наглядном виде врачу-стоматологу.

Задачами создания технических средств для стоматологов занимались исследователи Грисимов В.Н., Плотников Р.И., Овруцкий Г.Д., Володацкий М.П., Рубин Л.Р.. Вопросами извлечения знаний экспертов занимались ученые Гаврилова Т.А., Хорошевский В. Ф. Liebowitz Jay, Korf E Richard, García Martínez Ramón. Вопросами цифровой обработки изображений в задачах диагностики занимались Unser Michael, Terzopoulos D., Sühling Michael, Vetterli Martin.

Одно из развиваемых в настоящее время направлений создания систем диагностики, достаточно изученных по физике их взаимодействия со средой и обладающих функциональной полнотой, это применение оптических методов. Характер взаимодействия оптического излучения с наружными и внутренними дефектами известен. Известны примеры применения этих методов для некоторых локальных задач. Исследования частных решений указывают на принципиальную возможность и перспективность применения метода **инфракрасного оптического неразрушающего контроля (ИОНК)**. Техническая реализация этого метода требует новых знаний о конкретных условиях получения измерительной информации, ее особенностях и задачах обработки этой информации для представления стоматологу.

Предупреждение болезней включает ряд мероприятий медико-социального характера, одним из которых является их раннее распознавание. Чтобы тот или иной метод с целью диагностирования мог быть применен для целей профилактического обследования, он должен удовлетворять следующим критериям:

- безопасность для здоровья пациента и оператора,
- эффективность,
- относительно низкая стоимость и простота выполнения.

Пожалуй, только диагностика, использующая ИОНК, сможет удовлетворить всем перечисленным критериям. В работе этот тезис обоснован (гл.2).

**Объект исследования:** устройство получения информации о состоянии поверхности зуба на основе оптического метода, способы обработки информации с целью диагностики дефектов.

**Цель работы** заключается в разработке и обосновании физических и технических принципов построения первичного преобразователя информации на основе оптического метода ИОНК, проведение экспериментальных исследований, по результатам которых - разработка вторичного преобразователя информации, методологии и алгоритмов автоматизации выявления и диагностирования дефектов зубов

**Задачи исследования:**

- Выполнить экспертный анализ, чтобы оценить сравнительные характеристики и место исследуемого метода среди известных, а также определить класс дефектов как объект диагностирования.
- Создать физическую модель работы первичного преобразователя информации ИОНК. Создать стационарную экспериментальную установку и провести экспериментальные исследования на образцах из диэлектрика и реальных зубах, выбрать наиболее эффективные режимы работы и параметры настроек первичного (измерительного) преобразователя.
- На основе экспериментальных данных и обобщения знаний экспертов рассмотреть возможные подходы к организации обработки первичной информации во вторичном преобразователе для получения диагноза.
- Определить функциональную организацию системы автоматизации диагностирования.
- Разработать алгоритмы и методологию обработки информации во вторичном преобразователе с целью обнаружения дефектов на ранних стадиях заболевания и их диагностирования.
- Разработать методологию обработки информации во вторичном преобразователе с использованием существующих инструментальных средств обработки изображений с целью выделения и визуализации дефектов.

**Методы исследования:** Для решения поставленных задач использовались методы теории отражения и преломления света, методы извлечения и представления знаний экспертов, методы принятия решений, теории обработки цифровых изображений, теории нечеткой логики, теории проектирования микропроцессорных систем. Для нечеткого моделирования и цифровой обработки изображений использовались средства MATLAB.

**Научная новизна** работы состоит в следующем:

1. Разработана физическая модель ИОНК и создана на ее основе экспериментальная установка, с использованием которой получены новые результаты:

- практически доказана информативность метода ИОНК для выявления и диагностики дефектов на эмали зуба;

- определены желательные диапазоны длины волны излучателя и угла наклона луча к поверхности, необходимые для выбора излучателя и настройки параметров измерительного преобразователя;

- определены допустимые размеры элементарного участка поверхности, обеспечивающие возможность диагностики на ранних стадиях заболевания и реализуемые существующими техническими средствами.

2. С учетом особенностей метода ИОНК поставлены и решены задачи извлечения и представления знаний экспертов-стоматологов, необходимые для организации обработки первичных данных во вторичном преобразователе информации.

3. Разработан алгоритм обработки вторичных данных, полученных методом ИОНК, и методология диагностирования с использованием нечеткого моделирования в среде MATLAB.

4. Разработана методология обработки вторичных данных ИОНК средствами обработки изображений MATLAB, позволяющая визуально представить врачу картину поверхности с выделением и подчеркиванием областей с дефектами.

**Практическая значимость работы.** Результаты выполненного исследования позволят создать систему диагностирования дефектов на поверхности зуба, особенно на ранних стадиях, и как следствие, назначать своевременное и адекватное лечение зубов. Создание системы диагностирования выявления дефектов на поверхности зуба позволяет обнаруживать и диагностировать дефекты, меньшие, чем определяемые в настоящее время с существующим оборудованием. Разработанная физическая модель оптического метода и экспериментальная установка могут использоваться для создания датчика.

#### **Основные положения, выносимые на защиту**

1. Физическая модель ИОНК, экспериментальная установка и результаты экспериментальных исследований как база для разработки системы диагностирования.

2. Функциональная организация системы автоматизации контроля и диагностики состояния эмали зуба с использованием метода ИОНК.

3. Методология извлечения и представление знаний экспертов, как база для решения следующих задач:

- выбор метода получения информации о поверхности зуба и построения первичного преобразователя информации;

- определение типов дефектов, подлежащих диагностированию, построение функций принадлежности для лингвистических переменных, построение лингвистических правил для принятия решений, как база для построения вторичного преобразователя информации.

4. Алгоритм обработки вторичных данных, полученных методом ИОНК, и принятия решений с использованием нечеткого моделирования в среде MATLAB, позволяющий выявлять дефекты размером от 150x150 мкм, и дать оценку типа дефекта, либо, хорошего состояния зуба.

5. Методология обработки вторичных данных ИОНК средствами обработки изображений MATLAB, позволяющая визуально представить врачу картину поверхности, с выделением и подчеркиванием областей с дефектами.

**Апробация работы.** Основные положения диссертации доложены и одобрены на семинарах и неделе науки кафедры автоматике и вычислительной техники Санкт-Петербургского политехнического Университета (2004-2006), на международных конференциях: «Электроника-2002» Чигуауа, Мексика; «SOMI XVIII congreso de instrumentación, Ingeniería óptica; Noviembre 2002» Акапулько, Мексика; «Электроника-2003» Чигуауа, Мексика, «SOMI XVIII congreso de instrumentación, Ingeniería óptica; Noviembre 2004» Мерида, Мексика, «2<sup>do</sup> Congreso Nacional de Ciencias de la Computación 2004», Пуэбла, Мексика, «2<sup>do</sup> Congreso Nacional de Ciencias de la Computación 2004», Пуэбла, Мексика, «WSEAS Transactions on Biology and Biomedicine, Issue 4, volume1, p 455- 459, October 2004» Венеция, Италия, «IV Congreso internacional y V nacional de Estomatología Integral; Noviembre 2004», Мексика, «Bioingeniería y Física Cubana vol5, N<sup>o</sup> 3, p 9-17, Enero 2005» Гавана, Куба, «Facultad de Electrónica, BUAP. Junio 2005» Пуэбла, Мексика, X Международная научно-практическая конференция «Системный анализ в проектировании и управлении», июнь 2006г, г. Санкт-Петербург; WSEAS y Systems Transaction 2006, Greece- Athena .

**Публикации:** По теме диссертационной работы опубликовано 21 печатаная работа (18 статей, 3 тезисов к докладам), в том числе 6 – в российских и 15 – в зарубежных издательствах.

**Структура и объём диссертации:** Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка используемых терминов и сокращений, списка литературы и приложений. Общий объём диссертации составляет 156 страниц, в том числе 30 рисунков и 20 таблиц. Список литературы насчитывается 117 наименования.

#### **Содержание работы.**

Во введении обосновывается актуальность темы, определяются цель и задачи диссертационного исследования, сформулированы основные положения, приводится краткий обзор содержания по главам диссертации.

В первой главе проведен анализ известных положений и фактов из стоматологии с целью выявления наиболее существенных аномалий и дефектов, подлежащих диагностированию. Рассмотрены факторы, влияющие на возникновение заболевания зуба. Дефекты в зубах всегда возникают на поверхности зубной эмали, начиная с ее деминерализации. Формирование зуба имеет прямую связь с определенной структурой поверхности зуба.

На основе знаний экспертов определены отношения между аномалиями на поверхности и дефектами, существенные для разработки методологии диагностирования.

Далее на основе экспертных оценок обоснован выбор метода оптического неразрушающего контроля ИОНК для получения первичной информации о

состоянии поверхности зуба. В экспертизе участвовали 10 врачей. Были выбраны следующие методы и их обозначения: внешний осмотр (а), температурный метод (б), электрический метод (д), рентгенографический метод (и), метод люминесцентной диагностики (к), транслюминисцентный метод (л), метод ИОНК (м). Для экспертного сравнения методов были выбраны пять независимых показателей (характеристик): вредность (в), информативность о заболевании зуба (г), субъективность выявления признаков заболевания (с), ограниченные возможности выявления дефектов (о), внедрение во врачебную практику (п).

Результаты обработки экспертных данных по методу анализа иерархий Саати показывают, что рентгенографический метод (И) имеет большее предпочтение, чем все остальные рассмотренные методы. Однако, этот метод очень опасен для пациента и врача, менее информативен на ранних стадиях заболевания, более субъективен, чем оптический метод (М), но наиболее известен врачам. Более низкие оценки оптического метода связаны с отсутствием внедрения в практику, но именно на это и направлено исследование.

Во второй главе разработана аналитическая модель процесса получения первичных данных методом ИОНК. Модель позволяет выявить основные функциональные зависимости между характеристиками воспринимаемого приемником луча, состоянием поверхности и параметрами первичного преобразователя.

Для оценки состояния поверхности и её влияния на сигнал воспринимаемым приемником рассмотрен механизм рассеивания падающего излучения. На рис.1 приведена геометрическая картина отражения луча от поверхности элементарного участка.

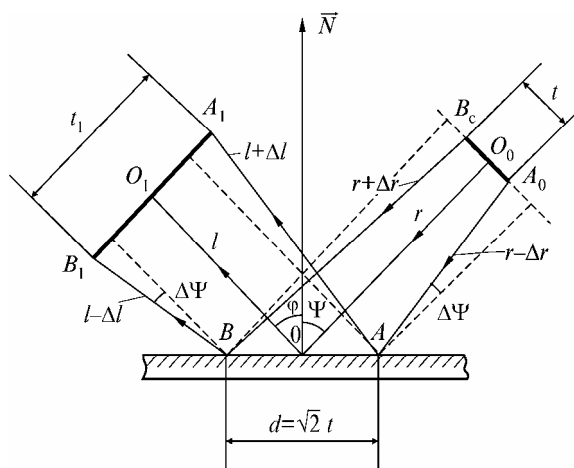


Рис. 1

Для рассмотрения условий получения информации примем допущение об изотропном характере микротопографии элементарного участка поверхности (с учетом принятых размеров 50мкм x 50мкм это соответствует реальности). Аналитические соотношения

падающего потока на поверхности, отраженного потока рассматривается: с позиций лучевой оптики (скалярной теории), а затем с учётом электрических свойств исследуемой поверхности.

На плоскую поверхность (след АВ) падает слабо расходящийся поток света под некоторым углом  $\psi$  между центральным лучом и нормалью к поверхности. Для центрального луча угол отражения  $\varphi = -\psi$ , для крайних лучей  $\varphi = -(\psi \pm \Delta\psi)$ . Длина хода центрального луча до поверхности  $r$ , а после отражения  $-l$ . Соответственно для крайних лучей  $r + \Delta r, r - \Delta r$  и  $l + \Delta l, l - \Delta l$ .

Аналитическая модель определяет зависимость выходного напряжения от параметров  $\psi, \varphi, r, l, \lambda$ , но для ее применения нужно проводить экспериментальное исследование для их уточнения.

На основе изучения модели разработаны стационарные экспериментальные установки с соответствующими элементами регулировки и получения информации. Часть поставленных задач решается на основе исследований образцов из специально подобранных диэлектриков, часть – на основе исследований реальных зубов, удаленных и сохраняемых соответствующим способом. Целью экспериментального исследования является доказательство практической применимости метода ИОНК, а также определение значений параметров  $\psi, \varphi, r, l, \lambda$ , при которых можно получить нужное напряжение на выходе приемника. Для экспериментов используются пластмассовые образцы различной цветности (желтой и коричневой). Выбор материала осуществляется исходя из подобия пластмассовых образцов поверхности зуба с точки зрения стоматологов. Экспериментальные установки не предусматривают возможность работы в ротовой полости, а служат для обоснования выбора средств получения первичной информации и сведения проблемы к конструированию измерительного преобразователя, пригодного для работы с пациентами. Само конструирование в задачу диссертации не входит.

Эксперименты подтверждают работоспособность метода ИОНК и предложенной его реализации, а также позволяют обоснованно выбрать основные параметры измерительного преобразователя информации.

В третьей главе разработана функциональная схема системы выявления и диагностирования дефектов, а также определение характеристик и способов, применяемых экспертом для обнаружения дефектов, и формализованное представление этих знаний. Поскольку в системе большую роль играют представленные особым образом знания



экспертов, система диагностирования должна быть реализована с использованием теории открытых интеллектуальных сложных систем. Проведена работа с 10 экспертами. Рассматривались 49 вопросов. Полученные ответы обработаны в соответствии с методом анализа иерархий Саати. Полученные знания далее использованы при построении вторичного преобразователя системы диагностирования.

В соответствии с общей теорией систем представим систему диагностирования в наиболее общем виде - в виде черного ящика. Входом является световой поток с информацией о состоянии поверхности зуба. Выход системы – это информация, пригодная для восприятия врачом, характеризующая в понятной для него форме состояние поверхности и, возможно, советы по диагностике.

Поставленной цели выявления дефектов поверхности эмали в теоретико-множественном представлении соответствует отображение  $X \rightarrow Z$ , где

$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  - множество элементов, характеризующих состояние поверхности эмали зуба;  $Z = \{z_1, z_2, z_3, \dots, z_m\}$  – выделенное для диагностирования множество различаемых классов состояния поверхности (например, здоровая поверхность, кариес, деминерализация).

В наиболее общем виде в соответствии с общей теорией систем нашу систему можно представить в виде отношения:

$$S \subset X \times Z \tag{1}$$

где  $S$  – отношение между элементами  $x$  и  $z$  соответствующих множеств  $X$  и  $Z$ , определяющее наличие на поверхности дефектов;

Задача обработки информации системой может быть представлена как получение множества  $X$ , выделение подмножества  $S$  с использованием знаний о  $Z$  и соответствующее визуальное представление результатов стоматологу.

Определение подмножества  $S$  может быть истинным только в том случае, если все элементы множества  $X$  истинны. Так как в множестве  $X$  предполагается наличие недостоверных элементов  $x_i$  из-за искажений, связанных с внешними воздействиями, нестабильностью параметров аппаратуры и т.д., то и диагностирование может быть неверным.

Необходимо применить дополнительный подход для устранения искажений в первичных данных. В связи с малой площадью элементарной площадки, а также учитывая известные из практики сведения о том, что аномалии и дефекты не могут носить такой «точечный» характер, можно проводить обработку первичных данных с учетом влияния соседних участков, сглаживая выбросы.

Представим систему  $S$  в виде композиции датчика  $D$  и системы обработки данных  $S^\circ$ :  $S = D \times S^\circ$ . (2)

Тогда систему  $S^\circ$  можно представить как:  $S^\circ \subset \Psi \times Z$ . (3)

Продолжим функциональную декомпозицию системы S. Представим ее в виде:

$$S = \{A, R, W\}, \tag{4}$$

где : S-система выявления дефектов СВД на дискретном пространстве поверхности ДПП; A - множество (совокупность) подсистем; W – назначение системы, влияющее на состав блоков и на связи между ними; R – отношение между элементами A, характеризующее прямые связи между подсистемами.

$A = \{CD, M, C\}$  – подсистема получения и обработки данных о поверхности эмали зуба для диагностики, где CD – подсистема сбора данных (измерительный преобразователь (датчик), канал передачи данных); M – механизм крепления и перемещения датчика; C – подсистема информационной обработки (прием результата преобразования луча в напряжение, фильтрация, статистическая обработка, выявление ДПЭ, определение класса состояний эмали, управление механизмом датчика). Соответствующая функциональная схема показана на рис.2.

Функционирование системы S, организованной для достижения цели W, включает следующие информационные процессы:

1. Управление механизмом перемещения луча при сканировании поверхности зуба;
2. Первичная обработка данных от датчика (фильтрация, изменение формы представления);
3. Обработка информации о состоянии поверхности эмали  $\Psi$  для обнаружения дефектов из множества Z;
4. Представление выходной информации в удобной для врачей форме, запоминание в БД;
5. Экспертная оценка состояния, диагностическое сообщение для врача.

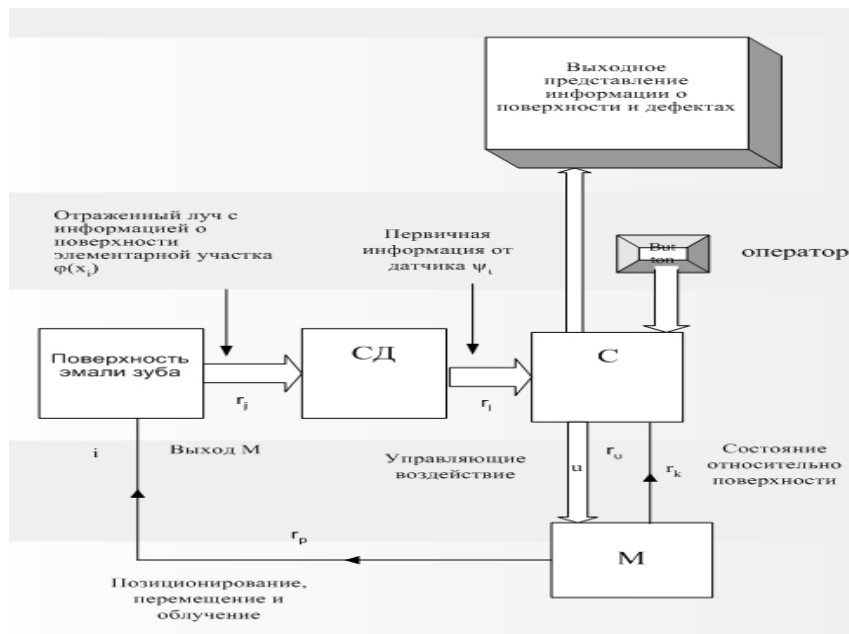


Рис 2

Далее в главе 3 рассмотрена организация работы с экспертами по извлечению знаний о дефектах, допускающих профилактическое лечение, и связей этих дефектов с анатомическими аспектами зуба (аномалиями). Полученные результаты использованы в гл.4. Можно сделать вывод, что деминерализация имеет большее предпочтение для профилактических целей, чем все остальные рассмотренные дефекты. Этот дефект очень

опасен, если не применяются меры для его удаления. Кариес является следствием деминерализации.

В четвертой главе рассмотрена задача обработки экспертных оценок и экспериментальных данных создания систем логических выводов для диагностирования состояния зубов на этапах. Для решения задачи надо формализовать представление знаний экспертов о связи дефектов с различными состояниями поверхности зуба. Поэтому рассматриваем подход к определению диапазонов численных значений измеряемых показателей для различных дефектов. Диапазоны необходимы для нечетких классификаторов, которые используются в системе логического вывода. Далее он дополнен эвристическим алгоритмом определения размерности дефекта и диагностирования в виде сообщений о наличии зон с тем или иным дефектом.

Врачами были выбраны 10 образцов удаленных зубов с дефектами и указаны зоны дефектов типа «кариес» и «деминерализация». Было проведено более 1000 измерений с каждым образцом. После статистической обработки получены следующие эталонные диапазоны значений кодов: для кариеса  $P_C = 0.6 \pm 0.6$  (0 – 1.2); для деминерализации  $P_d = 3.0 \pm 0.3$  (2.7-3.3). Весь диапазон изменения кода составляет (0-3.8).

Для построения лингвистических правил при обработке группы соседних участков необходимо согласовывать со специалистами-стоматологами характеристики проявления дефектов на поверхности зубов. Для выявления этих особенностей, существенных для автоматизации диагностирования.

В составе согласованного минимального размера дефекта входят 9 элементарных поверхностей. 9 элементов используются в алгоритме «8 соседей».

Существенно, что положение значения  $X_{ij}$  в матрице, полученное в процессе сканирования поверхности, не должно изменяться в процессе обработки.

Для обработки в системе диагностики мы берем полученные данные, структурированные в матрицу без обработки. Эти данные содержат влияние шумов и ошибки измерения, которые определяют неопределенность.

По четырем диапазонам значений кода (и соответственно четырем значениям лингвистической переменной), а также по приведенным ответам специалистов на поставленные вопросы при обработке троек значений лингвистических переменных определены  $4^3 = 64$  лингвистических правила.

После получения значений лингвистической переменной для всех трех кодов  $x_{ij}$  далее по лингвистическим правилам определяется значение лингвистической переменной для всей строки. Это позволяет на основании влияния ближайших соседей определить уточненное

значение лингвистической переменной диагностирования. Значения этой лингвистической переменной: кариес ( $c$ ), деминерализация ( $d$ ), здоровая ткань ( $h$ ).

Множество элементов матрицы:  $X = \{x_{ij}\}$ ,  $i \in \overline{1, m}$ ,  $j \in \overline{1, n}$  необходимо разделить на три подмножества  $X^c$  (с диагнозом – кариес),  $X^d$  (с диагнозом – деминерализация) и  $X^h$  (с диагнозом – здоровая ткань). Причем,  $X = X^c \cup X^d \cup X^h$ ,  $X^c \cap X^d = \emptyset$ ,  $X^c \cap X^h = \emptyset$ ,  $X^d \cap X^h = \emptyset$ . При получении тройки со значением  $c$  либо  $d$ , выбирается центральный элемент  $x_{ij}$ . Формируется множество  $XI$ , включающее  $x_{ij}$  и 8 его ближайших соседей.

Для множества  $XI$  принимается общее диагностическое решение в соответствии со следующими правилами, основанными на приведенных выше экспертных оценках: кариес, если  $n_c \geq 5$  и  $n_d \leq 4$ , деминерализация, если  $n_d \geq 6$  и  $n_c \leq 1$ , в остальных случаях – здоровая ткань.

Принятое решение принимается для всех 9 элементов.

Действуя по приведенному алгоритму, всем элементарным участкам будут присвоены значения лингвистической переменной диагностирования. Тем самым задача формирования подмножеств  $X^c$ ,  $X^d$  и  $X^h$  решена. Тем самым определены зоны поверхности с кариесом, деминерализацией и здоровые. Ограничений на размеры сверху в пределах матрицы нет.

В пятой главе предложена методика обработки изображения поверхности эмали зуба (рис. 3). Она включает: получение информации о состоянии поверхности по результатам метода ИОНК; обработку этой информации с предложенной последовательностью использования известных способов. Эти способы: вейвлет, Б кубический сплайн, активный контуры или снейк. Они применяются для обработки изображений в предметной области: стоматология. Методика позволяет обнаруживать дефекты, размеры сравнимые с теми, которые возможно обнаружить при осмотре с помощью зондирования врачом.

На рис. 3 показана функциональная организация обработки данных как изображения, в которой можно выделить следующие блоки: 1. Сбор информации и управление механизмом – сканирование, 2. Формирование изображение по матрице данных, 3. Фильтрация и сглаживание изображения, 4. Увеличение разрешающей способности, 5. Формирование шаблонов (диапазонов тональности), соответствующих различаемым состояниям поверхности (это осуществляется на основе статистической обработки предварительных измерений и знания экспертов), 6. Нахождение контуров и выявление дефектов.

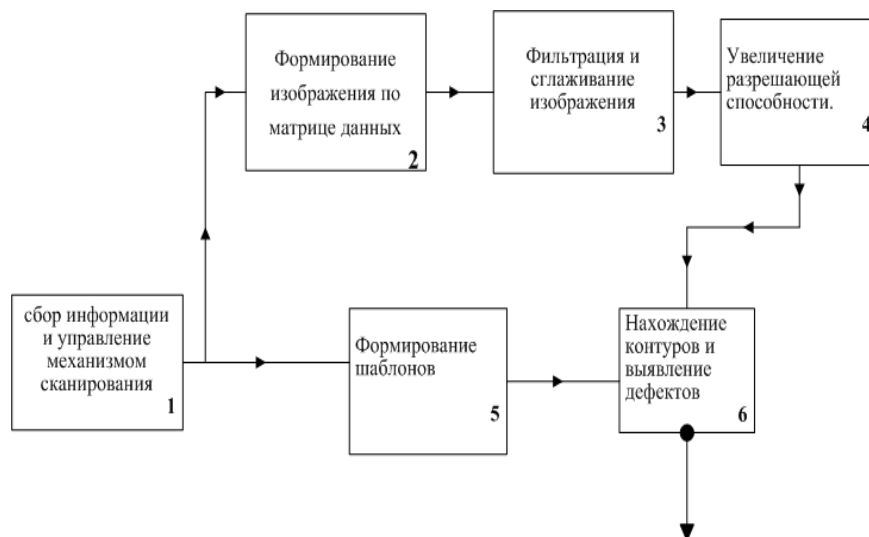


Рис.3

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Создана аналитическая модель измерительного преобразователя ИОНК, экспериментальная установка и методика проведения экспериментов. Проверена работоспособность ИОНК на диэлектрических образцах и образцах удаленных зубов. Определены значения параметров  $\Psi$ ,  $\varphi$ ,  $r$ ,  $l$ ,  $\lambda$ , которые влияют на величину выходного сигнала. По показателю контрастности обоснован выбор типа излучателя.
2. С учетом особенностей метода ИОНК поставлены и решены задачи извлечения и представления знаний экспертов, необходимые для организации обработки первичных данных во вторичном преобразователе информации.
3. С учетом особенностей полученной информации о состоянии зуба и знаний экспертов разработана функциональная схема системы выявления и диагностирования дефектов.
4. Созданы алгоритмы и методология диагностики состояния зуба на основе данных, полученных от первичного преобразователя, позволяющая обнаруживать дефекты с линейным размером от 150 мкм, которые нельзя обнаружить визуально.
5. Создана методология обработки первичных данных с использованием средств цифровой обработки изображения, включающая вейвлет преобразование, интерполяцию кубическими Б-сплайнами и обработку с использованием активных контуров (снейк) в среде MATLAB.

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. Бустильо Диас М.М., Мелехин В. Ф. Методология диагностики состояния эмали зуба по результатам инфракрасного оптического неразрушающего контроля // X Международная научно-практическая конференция «Системный анализ в проектировании и управлении», Июнь 2006г. С. 78-86
2. Бустильо Диас М., Мелехин В. Ф., Физическая модель инфракрасного оптического неразрушающего контроля // Материалы межвузовского конкурса-конференции

- студентов, аспирантов и молодых ученых Северо-запада «Технологии Microsoft в теории и практике программирования» 14-15 марта СПб: Изд-во Политехнического Ун-та 2006г. С. 178-179
- 3 Бустильо Диас М., Мелехин В. Ф., Функциональная схема контроля состояния и диагностики зуба с использованием инфракрасного излучения. // Материалы межвузовского конкурса-конференции студентов, аспирантов и молодых ученых Северо-запада «Технологии Microsoft в теории и практике программирования» 14-15 марта 2006 СПб: Изд-во Политехн. Ун-та 2006г.С.- 179
  - 4 Бустильо Диас М., Мелехин В. Ф. Использование Метода инфракрасного оптического неразрушающего контроля поверхности зуба для автоматизации процессов контроля и диагностики // Сборник научных трудов «Вычислительные, измерительные и управляющие системы» Под ред. Ю. Б. Сениченкова . СПб.: Изд-во Политехн. Ун-та 2005г. С. 90-99
  - 5 Бустильо Диас М., Мелехин В. Ф., Экспертной анализ дефектов и способов контроля и диагностики поверхности зуба с целью выбора метода для автоматизации // Сборник научных трудов «Вычислительные, измерительные и управляющие системы» Под. ред. Ю. Б. Сениченкова. СПб.: Изд-во Политехн. Ун-та 2005г. С. 100-109
  - 6 Бустильо Диас М.М. Мелехин В.Ф. Анализ проблемы выявления дефектов на поверхности зуба // «XXXIII Неделя Науки СПбГПУ, Факультет технической кибернетики» 29 ноября-4 декабря 2004г СПб: Изд-во политехн. Ун-та 2004г. С. 112
  7. Cortez José Italo, Bustillo Díaz Mario, Cortez Liliana, Grebennikov A., González Flores M., Perea Gloria P. Sistema de detección de defectos sobre la superficie del esmalte dental utilizando el comportamiento geométrico de la luz // Bioingeniería y Física Cubana vol5, N<sup>o</sup> 3, 2005 P. 9-17
  - 8 Cortez José Italo, Bustillo Díaz Mario, Caldera Miguel Javier. Adquisición y procesamiento de datos de la rugosidad de superficie del esmalte dental utilizando el microcontrolador 8032 // SOMI XVIII “Congreso de instrumentación, Ingeniería óptica” Centro de ciencias aplicadas y desarrollo tecnológico Noviembre 2004, México, D.F, 2004. P. 94-104
  9. Cortez José Italo, Bustillo Díaz Mario, y otros Prueba de significancia con datos multivariados aplicada a dos muestras provenientes de la rugosidad del esmalte dental // “2<sup>do</sup> Congreso Nacional de Ciencias de la Computación” 8 al 12 de noviembre de 2004, Facultad de computación., Noviembre 2004. P. 266-271
  - 10 Cortez José Italo, Bustillo Díaz Mario, y otros Adquisición y procesamiento de datos para la detección de defectos en piezas dentales utilizando el método de trasmittancia // “2<sup>do</sup> Congreso Nacional de Ciencias de la Computación” 8 al 12 de noviembre de 2004, Facultad de computación., Noviembre 2004. P. 127-132
  - 11 Cortez José Italo, Bustillo Díaz Mario, y otros Acquisition and data processing with apdsed system using statistical process for the detection of defect in the surface of dental enamel //

- WSEAS Transactions on Biology and Biomedicine, Issue 4, volume1, Venecia, Italia October 2004. P 455- 459
- 12 Cortez José Italo, Bustillo Díaz Mario, y otros Tecnología no invasiva para la detección de defectos en esmalte dental // “IV Congreso internacional y V nacional de Estomatología Integral”; Noviembre 2004. P. 45-52
  - 13 Cortes Italo J., Bustillo Díaz M., y otros, Análisis de la superficie del esmalte dental utilizando las propiedades de la luz coherente y el microscopio electrónico // CONAEDO, “Consejo nacional de educación odontológica, Revista de educación odontológica”, octubre-noviembre, 2004 año 4volumen 3. P. 35-43.
  - 14 Cortez Italo J., Bustillo Díaz M. y otros, Tecnología no invasiva para la detección de defectos en esmalte dental // “IV congreso internacional y V nacional temático de estomatología integral-2004” octubre 2004. Facultad de Estomatología, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. 2004 P. 55-62
  15. Bustillo Diaz Mario Sistemas abiertos // Ciclo de conferencias, “Facultad de electrónica”, Puebla, Puebla, Mex. 2005. P. 50-57
  - 16 Grebennikov A., Cortes José I., Bustillo Díaz M. M. On the infrared reflection measurement and regularization data processing algorithm // WSEAS Transactions on Computers, Issue 3, Volume 2, New York, USA 2003. P. 601-605
  - [17 Cortez José Italo, Bustillo Díaz Mario Mauricio, y otros Desarrollo de tecnología no invasiva para la detección temprana de defectos en la superficie del esmalte dental](#) // “Tercera reunión Anual de ciencia y medicina” Diciembre 2003 INAOE, Puebla México 2003. P. MYT-06-1 – MYT-06-8
  - 18.Cortez José Italo, Bustillo Díaz Mario Mauricio, y otros Desarrollo de Instrumentación para el análisis de la superficie del esmalte dental // Congreso internacional de ingeniería electrónica “Electro 2003”, Instituto Tecnológico de Chihuahua, Chihuahua. 2003. P. 447-452
  - 19.Bustillo Díaz Mario Mauricio Aplicación de microcontroladores a la solución de problemas cotidianos: Una metodología // 1<sup>er</sup> Congreso Nacional de Ciencias de la Computación” 8 al 12 de noviembre de 2003, Facultad de computación., Noviembre 2003. P. 120-125
  20. Cortez José Italo, Bustillo Díaz Mario y otros Detección de defectos en dependencia de la profundidad y su ubicación en materiales dieléctricos // SOMI XVII “Congreso de instrumentación, Ingeniería óptica” Centro de ciencias aplicadas y desarrollo tecnológico Noviembre 2003, Merida, Yucatan 2003. Clave 17CJI30
  - 21.Cortez José Italo, Bustillo Díaz Mario, y otros Detección de defectos en dependencia de la profundidad y su ubicación en materiales dieléctricos // Congreso internacional de ingeniería electrónica “Electro 2002”, Instituto Tecnológico de Chihuahua, Chihuahua. 2002. P. 117-122