

СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК

МЕТОД ГРВ БИОЭЛЕКТРОГРАФИИ

Под редакцией доктора технических наук, профессора К.Г. Короткова

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТОДИКИ ГРВ БИОЭЛЕКТРОГРАФИИ

Коротков К.Г., Гатчин Ю.А. Физические механизмы и принципы построения систем ГРВ биоэлектрографии. Приборостроение. Т. 49, № 2, 2006, сс. 5-15.

Коротков К.Г., Виллиамс Б., Виснески Л.А. Биофизические механизмы метода ГРВ биоэлектрографии. Приборостроение. Т. 49, № 2, 2006, сс. 16-17.

Бабицкий М.А., Короткина С.А., Коротков К.Г., Крыжановский Э.В., Муромцев Д.И..

Проектирование систем анализа динамических полутоновых изображений, полученных методом ГРВ биоэлектрографии. Приборостроение. Т. 49, № 2, 2006, сс. 19-21.

Муромцев Д.И.. Формирование диагностических знаний на основе баз данных газоразрядных изображений. Приборостроение. Т. 49, № 2, 2006, сс. 22-25.

Нечаев Д.А., Гришенцев А.Ю., Иванова Н.Ю. Исследование работы прибора «измеритель поверхностных частот» при различных значениях влажности. Приборостроение. Т. 49, № 2, 2006, сс. 26-29.

Борисова М.В., Крыжановский Э.В., Ткалич В.Л. Оценка погрешности экспериментальных результатов при исследовании методом ГРВ биоэлектрографии. Приборостроение. Т. 49, № 2, 2006, сс. 30-31.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИКИ ГРВ БИОЭЛЕКТРОГРАФИИ В МЕДИЦИНЕ И БИОЛОГИИ

Степанов А.В., Свиридов Л.П., Короткина С.А., Ахметели Г.Г., Крыжановский Э.В.

Использование метода ГРВ биоэлектрографии для оценки реакции антиген-антитело. Приборостроение. Т. 49, № 2, 2006, сс. 32-35.

Пряткин Н.С., Коротков К.Г., Куземкин В.А., Вайншелбойм А., Матраверс П. Метод ГРВ биоэлектрографии для исследования влияния пахучих веществ на психофизиологическое состояние человека. Приборостроение. Т. 49, № 2, 2006, сс. 37-43.

Олальде Х. Системная теория медицины. Приборостроение. Т. 49, № 2, 2006, сс. 44-46.

Гагуа П.О., Гедеванишвили Е.Г., Георгобиани Л.Г., Коротков К.Г., Короткина С.А., Ахметели Г.Г., Крыжановский Э.В. Исследование применения метода ГРВ биоэлектрографии в онкологии. Приборостроение. Т. 49, № 2, 2006, сс. 47-50.

Коротков К.Г., Нечаев В.А., Петрова Е.Н., Вайншелбойм А., Коренюгин Д.Г., Шигалев В.К. Исследование ГРВ-свечения волос. Приборостроение. Т. 49, № 2, 2006, сс. 51-56.

Сенькин В.В., Ушаков И.Б., Бубеев Ю.А., Степанов В.К. Использование метода ГРВ биоэлектрографии в авиационной и космической медицине. Приборостроение. Т. 49, № 2, 2006, сс. 57-61.

Крыжановский Э.В., Борисова М.В., Лим К.Ч., Чан Т.Ш.. Оценка влияния минеральных вод на состояние человека методом ГРВ Биоэлектрографии. Приборостроение. Т. 49, № 2, 2006, сс. 62-66.

Пряткин Н.С., Коротков К.Г., Куземкин В.А., Дорофеева Т.Б. Исследование влияния внешней среды на состояние растений на основе метода ГРВ биоэлектрографии. Приборостроение. Т. 49, № 2, 2006, сс. 67-72.

SPECIAL ISSUE

GAS DISCHARGE VISUALIZATION TECHNIQUE

By Edition of K.G. Korotkov, Doctor of technical science

CONTENTS

BASIC PHYSICS OF GDV TECHNIQUE

Korotkov K.G., Gatchin Y.A. Physical Mechanisms and Look-and-Feel of Systems GDV Technique

Korotkov K.G. Williams B., Wisneski L.A. Biophysical Mechanisms of GDV Technique.

Babitsky M.A., Korotkina S.A., Korotkov K.G., Krizhanovsky E.V., Muromtsev D.I. Analysis System Design of Half-Tone Images, Obtained by GDV Technique

Muromtsev D.I. Knowledge Acquisition in GDV-image Databases.

Nechaev D.A., Grishentsev A.U., Ivanova N.Y. Original Research of Working of GDV System in Various Humidity Marks.

Borisova M.V., Krizhanovsky E.V., Tklich V.L. Playback Accuracy Evaluation in Investigations by GDV Technique.

APPLICATION GDV TECHNIQUE IN MEDICINE AND BIOLOGY.

Stepanov A.V., Sviridov L.P. Korotkina S.A., Achmeteli G.G., Kryzhanovski E.V. Application GDV Technique in Evaluation of Agglutination Reaction.

Priyatkin N.S., Korotkov K.G., Kuzemkin V.A., Vainshelboim A., Matravers P. GDV Technique in Investigation of Influence of Odorants on Psychophysiological Human State.

Olalde J. System Theory of Medicine

Gagua P.O., Gedevanishvili E.G., Georgobiani L.G., Korotkov K.G., Korotkina S.A., Achmeteli G.G., Krizhanovsky E.V. Study of Application of GDV Technique in Oncology.

Korotkov K.G., Netchaev V.A., Petrova E.N., Vainshelboim A., Korenugin D.G., Shigalev V.K. The investigation GDV-gloving of hair

Senkin V.V., Ushakov I.B., Bubeev U.A., Stepanov V.K. Application of GDV Technique the Method in Aviation and Space Medicine.

Krizhanovsky E.V., Borisova M.V. Lim K.Ch., Chian T.Sh. Investigation of Effects of Mineral Water to Human State on basis GDV Technique.

Priyatkin N.S., Korotkov K.G., Kuzemkin V.A., Dorofeeva T.B. Investigation of Environment Effects on the Plant State on Basis GDV Technique.

УДК 681.78

**ФИЗИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ И ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ ГРВ
БИОЭЛЕКТРОГРАФИИ / К. Г. Коротков, Ю.А. Гатчин**

Рассмотрены основные физические процессы, протекающие при газоразрядной визуализации (ГРВ) объектов различной природы. Приведены основные параметры систем формирования изображений, комплекса вычисляемых параметров изображений, а также серийно выпускаемых ГРВ приборов.

Ил. 2, библиогр. 11.

УДК 621.391.2

**БИОФИЗИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ МЕТОДА ГРВ БИОЭЛЕКТРОГРАФИИ /
К. Г. Коротков, Б. Виллиамс, Л. А. Виснески**

Рассматриваются подходы, позволяющие исследовать прижизненную активность биологических систем на основе использования энтропии. Для объяснения биофизических механизмов метода ГРВ биоэлектрографии предлагается использовать концепцию туннельного транспорта электронов между отдельными белковыми молекулами-переносчиками, отделенными друг от друга.

Библиогр. 4.

УДК 621.391.26

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ АНАЛИЗА ДИНАМИЧЕСКИХ ПОЛУТОНОВЫХ
ИЗОБРАЖЕНИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ГРВ БИОЭЛЕКТРОГРАФИИ /
М. А. Бабицкий, С. А. Короткина, К. Г. Коротков, Э. В. Крыжановский,
Д. И. Муромцев**

В статье рассмотрены вопросы проектирования систем анализа изображений газового разряда, полученных с помощью прибора «ГРВ камера», разработанного в СПБИТМО. Свечение газового разряда, возникает вблизи поверхности исследуемого объекта при помещении последнего в электрическое поле высокой напряженности. Авторами разработаны алгоритмы расчета характеристик динамических изображений и анализа временных рядов этих характеристик. Для описания ГРВ-грамм были предложены несколько параметров: площадь свечения, средняя интенсивность свечения, средний радиус, нормализованное среднеквадратическое отклонение радиуса и коэффициент формы. Для анализа временных рядов разработаны алгоритмы вычисления трендов, энтропии, фрактальной размерности и спектральной плотности. Предложена гибкая, открытая информационная модель на основе фреймового представления данных в системах анализа.

Ил. 1, библиогр. 2.

УДК 007:61

**ФОРМИРОВАНИЕ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ЗНАНИЙ НА ОСНОВЕ БАЗ ДАННЫХ
ГАЗОРАЗРЯДНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ / Д. И. Муромцев**

В статье рассмотрены вопросы автоматизированного формирования диагностических знаний по базе данных газоразрядных изображений. Большие массивы данных, возникающие при обработке газоразрядных изображений требуют выполнения множества однотипных шагов при выполнении анализа, таких как статистическая обработка выборок, дискриминантный анализ, факторный и корреляционный анализ, регрессионный анализ, а также процедуры классификации, кластеризации и ряд других. Данная особенность приводит к задаче адаптации метода извлечения знаний из баз данных к проблематике ГРВ. Предлагаемые пути решения данной задачи направлены на упрощение проектирования и разработки новых систем анализа характеристик исследуемых объектов методом газоразрядной визуализации для различных предметных областей. Статья написана на 6 страницах, содержит 2 рисунка, список литературы включает 6 позиций.

Ил. 2, библиогр. 6.

УДК 621.317.7

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ПРИБОРА «ИЗМЕРИТЕЛЬ ПОВЕРХНОСТНЫХ ЧАСТОТ» ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ЗНАЧЕНИЯХ ВЛАЖНОСТИ / Д. А. Нечаев, А. Ю. Грищенко, Н.Ю. Иванова

Данная работа посвящена выявлению зависимости показаний ГРВ приборов от изменения влажности окружающего воздуха. А также определению рекомендуемого диапазона относительной влажности для корректной работы ГРВ приборов.

Известно, что зависимость напряжения пробоя (Упр.) от влажности, проявляется только при разряде по поверхности раздела твердого диэлектрика (изолятора) и газа и выражается в уменьшении Упр. с ростом влажности, особенно при некотором уровне влажности, когда образуется пленка на поверхности. В соответствии с кривой Пашена зависимость Упр. от атмосферного давления, при обычных условиях, пренебрежимо мала. Зависимость Упр. от температуры (при $t=0-40^{\circ}$) составляет не более 7%.

В ходе целого ряда исследований было подтверждено, что на показания приборов ГРВ и «ИПЧ» наибольшее влияние оказывает относительная влажность, гораздо меньшее влияние вносит температура и еще меньшее влияние оказывает давление. Результаты исследований можно будет использовать для всех видов ГРВ приборов.

Ил. 4, табл. 2, библиогр. 4.

УДК 681.78

ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ МЕТОДОМ ГРВ БИОЭЛЕКТРОГРАФИИ / М. В. Борисова, Э. В. Крыжановский, В.Л. Ткалич

В работе сформулированы основные проблемы, связанные с воспроизводимостью результатов экспериментов проведенных методом ГРВ биоэлектрографии. Приведены стандартные методы устранения указанных проблем, после чего, как показано в работе, погрешность воспроизведения не превышает 5%.

Библиогр. 5.

УДК 681.78:616-071

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ГРВ БИОЭЛЕКТРОГРАФИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ РЕАКЦИИ АНТИГЕН-АНТИТЕЛО / А.В. Степанов, Л.П. Свиридов, С.А. Короткина, Э.В. Крыжановский, Г.Г. Ахметели

Изучали возможность применения метода ГРВ биоэлектрографии для регистрации реакции агглютинации. Итоговые данные сравнивали с результатами, полученными общепринятым методом. Показано, что в результате взаимодействия антигена с антителом и образования иммунных комплексов происходит изменение физико-химических свойств исследованного материала и, следовательно, показателей ГРВ-изображений. Рекомендовано использовать метод ГРВ для исследования непрозрачных биологических жидкостей, когда визуальная оценка реакции агглютинации затруднена или невозможна (например, исследование крови с целью выявления этиологии аллергий у человека). Ил.2, табл. 2, библиогр. 2.

УДК 681.784: 612.85

МЕТОД ГРВ БИОЭЛЕКТРОГРАФИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ПАХУЧИХ ВЕЩЕСТВ НА ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ЧЕЛОВЕКА / Н. С. Прияткин, К. Г. Коротков, В. А. Куземкин, А. Вайншелбойм, П. Матраверс

В работе приведено описание адаптивной ГРВ методики исследования влияния факторов внешней среды на психофизиологическое состояние человека. Исследовалось влияние 12 натуральных растительных эфирных масел. ГРВ методика обеспечивала объективизацию реакции человека на воздействие пахучих веществ с вероятностью до 50%. Корреляционный анализ выявил связь характеристик ГРВ-сигнала и вероятности реакции на воздействие пахучих веществ с ситуативными и личностными составляющими психоэмоционального статуса обследуемых. Ил. 4, табл. 1, библиогр. 15.

УДК 61

СИСТЕМНАЯ ТЕОРИЯ МЕДИЦИНЫ / Х. Олальде

Представлена системная теория медицины, основанная на идее трех основных компонентов здоровья: организации, энергии и информации. Стратегия лечения заключается в поиске натуральных средств, влияющих на каждый из этих факторов. Постулируется, что уровень здоровья определяется как производное отмеченных факторов и с достижением ими идеального уровня здоровье пациента возвращается к норме. Табл. 1, библиогр. 6.

УДК 681.78: 616-006.6

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ГРВ БИОЭЛЕКТРОГРАФИИ В ОНКОЛОГИИ / П. О. Гагуа, Е. Г. Гедеванишвили, Л. Г. Георгобiani, К. Г. Коротков, С. А. Короткина, Г. Г. Ахметели, Э. В. Крыжановский

Проведено исследование потенциальных возможностей применения метода ГРВ биоэлектрографии в онкологической практике. Выявление потенциала метода ГРВ для прогностики и мониторинга состояния пациента в процессе комплексного онкологического лечения. Во всех исследованных случаях было обнаружено

статистически значимое отличие между ГРВ параметрами онкологических пациентов и не онкологической группы.

Табл. 1, библиогр. 14.

УДК 681.78

ИССЛЕДОВАНИЕ ГРВ-СВЕЧЕНИЯ ВОЛОС / Коротков К.Г., Нечаев В.А., Петрова Е.Н., Вайншелбойм А., Коренюгин Д.Г., Шигалев В.К.

Исследована динамика газоразрядного свечения волос человека при различной влажности, температуре и напряженности приложенного электрического поля.

Ил. 3, табл. 1, библиогр. 5.

УДК 681.78:616-071

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ГРВ БИОЭЛЕКТРОГРАФИИ В АВИАЦИОННОЙ И КОСМИЧЕСКОЙ МЕДИЦИНЕ / В. В. Сенькин, И. Б. Ушаков, Ю. А. Бубеев, В. К. Степанов

Исследовали возможность использования методики вызванных биоэлектрографических сигналов для оценки и прогнозирования функционального состояния летного состава и контроля состояния их функциональных и физиологических систем в процессе выполнения профессиональной деятельности и прохождении врачебно-летной экспертизы. Выявлены параметры ГРВ изображений, отражающие индивидуальную устойчивость летного состава к пилотажным нагрузкам, а также прогностически значимые параметры ГРВ изображений. Установлено, что чувствительность биоэлектрографического подхода составляет 86%, специфичность 82%, прогностическая ценность положительного и отрицательного результатов составляет соответственно 38 и 98%.

Библиогр. 6.

УДК 681.78:574

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД НА СОСТОЯНИЕ ЧЕЛОВЕКА МЕТОДОМ ГРВ БИОЭЛЕКТРОГРАФИИ / Э. В. Крыжановский, М. В. Борисова, К. Ч. Лим, Т. Ш. Чан

Для оценки качества жизни был использован метод ГРВ биоэлектрографии. Оценка проводилась на основании анализа ГРВ состояния людей в процессе изменения их психофизиологического состояния. В качестве дополнительной верифицирующей методики определения психофизиологического состояния человека был использован метод POMS (Profile of Mood State).

Ил. 5, табл. 1, библиогр. 6.

УДК 681.78: 634.0.44

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ НА СОСТОЯНИЕ РАСТЕНИЙ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ГРВ БИОЭЛЕКТРОГРАФИИ / Н. С. Прияткин, К. Г. Коротков, В. А. Куземкин, Т. Б. Дорофеева

В работе приведено описание адаптивных методик получения и обработки ГРВ-изображений фрагментов побегов древесных растений и зерен. Представлены результаты экспериментальных исследований, показывающие, что метод ГРВ биоэлектрографии чувствительна к изменению состояния растений, вызванного повреждающим воздействием фитопатогенных грибов. Приведены данные по изучению влияния *Graphium ulmi schwazz*, возбудителя графйоза ильмовых, на состояние однолетних побегов вяза в условиях *in vitro* ГРВ методикой и методами фитопатологического мониторинга, а также исследованию характеристик ГРВ изображений зерен пшеницы, в различной степени пораженных *Fusarium graminearum Schw.*, возбудителем фузариоза колоса.

Ил. 2, табл. 5, библиогр. 16.

Предисловие

Настоящий специальный выпуск журнала «Приборостроение» посвящен научному направлению, которое развивается на кафедре проектирования компьютерных систем СПбГУИТМО в течение последних 10 лет: методу газоразрядной визуализации – ГРВ биоэлектрографии. Этот метод основан на регистрации и обработке свечений, возникающих при помещении объектов различной природы в импульсное электромагнитное поле высокой напряженности. Свечение преобразуется в цифровой код при помощи ПЗС матриц, формируя в компьютере двумерное полутоновое изображение. Разработке технических программно-аппаратных средств для практического применения этого процесса была посвящена работа большой группы сотрудников, студентов и аспирантов кафедры проектирования компьютерных систем в последние годы.

В настоящем сборнике представлены два направления: исследований: физические основы метода ГРВ биоэлектрографии и аспекты его применения в медицине и биологии. Более 100 лет назад было обнаружено, что параметры газоразрядного свечения растений, животных и человека меняются при изменении физиологического и психического состояния. После работ российских изобретателей супругов Кирлиан это явление получило название «Эффект Кирлиан». Однако только использование современных технических средств и, прежде всего, методов обработки изображений позволило добиться получения стабильных воспроизводимых результатов и начать внедрение метода ГРВ в медико-биологическую практику. В первом разделе настоящего сборника приведены работы, раскрывающие сущность физических процессов, протекающих при формировании газоразрядных изображений, биофизические механизмы, основанные на современных представлениях молекулярной биологии, и алгоритмические подходы к извлечению информации об исследуемом объекте по параметрам его газоразрядного свечения.

Второй раздел представляет собой работы, выполненные совместно с биологами и медиками как России, так и других стран. Особый интерес представляет собой работа группы авторов под руководством профессоров Степанова А.В. и Свиридова Л.П. Им удалось разработать уникальную методику выявления аллергических реакций по параметрам свечения крови, не имеющую мировых аналогов. При растущей аллергизации населения всех развитых стран важность и актуальность такого подхода не вызывает сомнения. Не менее актуальные подходы представлены в статье группы исследователей из России и Грузии по исследованию состояния онкологических больных, закладывающие подходы к ранней диагностике этой болезни. Не менее интересны развитые с участием военных медиков методики исследования параметров газоразрядного свечения летчиков авиации и космонавтов. Во всех этих случаях метод ГРВ позволяет получить уникальную прогностическую информацию о состоянии организма человека. Оригинальный подход представлен в совместной работе сотрудников СПбГУИТМО и специалистов американской косметической индустрии по выявлению реакций человека на влияние пахучих веществ. И, наконец, экологические применения метода ГРВ представляют несомненный практический интерес. В совместной работе со специалистами из Малайзии были исследованы реакции группы людей на применение в течение 6 недель природной минеральной воды, коммерческой питьевой воды и обычного раствора соли, а в работе группы российских исследователей рассмотрено изменение параметров свечения растений под влиянием различных факторов.

Содержание настоящего тематического выпуска журнала убедительно показывает, что метод ГРВ биоэлектрографии в его современном состоянии представляет собой сформировавшееся научное направление, достижения которого активно внедряются в практику. Представленные статьи не исчерпывают всех направлений работы кафедры ПКС и даже всех областей практического внедрения метода ГРВ, но они показывают картину активного развития нового научного направления.

Foreword

This special issue of the “Instrument engineering” (“Priborostroenie”) magazine is dedicated to a field of science that has been developed at the Computer Systems Design (CSD) department of St. Petersburg State University of Informational Technologies, Mechanics and Optics (SPbSU ITMO) during the last 10 years: the gas visualization technique – the GDV-bioelectrography. This technique is based on the registration and processing of the “fluorescence” or “glow” that is generated by animate or inanimate objects when placed in a high intensity electromagnetic pulsed field. The glow is converted into digital code by means of the CCD (Charge-Coupled Device) arrays, and a two-dimensional gray-scale image is generated in the computer. In the recent years a large group of employees, students and post-graduate students of the Computer Systems Design department has been designing software and hardware for the practical application of this process.

The present collection of articles concerns two areas of research: physical foundations of the GDV-bioelectrography method and aspects of its application in medicine and biology. More than 100 years ago a discovery was made that the parameters of the gas discharge fluorescence of plants, animals and humans change according to changes in the physiological or mental state of the subject. This phenomenon became known as the “Kirlian effect” after the works of Russian investigators, a married couple, Semyon and Valentina Kirlian. But only modern technical tools and above all methods of image processing made possible obtaining stable reproducible results and allowed introduction of the GDV-method into medico-biological practice. The first part of this collection contains the publications, which reveal the essence of the physical processes that take place during the generation of the GDV-images, the biophysical mechanisms, based on the modern conceptions of the molecular biology, and the algorithmic approaches to extracting information about the investigated subject from the parameters of its GDV-glow.

The second part contains the publications written in collaboration with biologists and physicians from Russia and other countries. The publication of a group of authors under the leadership of professors A.V. Stepanov and L.P. Sviridov is of special interest. They succeeded in developing a unique technique of allergic reactions' detection through the parameters of the glow of blood. The growing level of allergization of the population of all developed countries makes obvious the importance and urgency of such a technique. No less important are the approaches described in the article of a group of investigators from Russia and Georgia that concerns the investigation of state of health of oncological patients for early detection of this illness. Of great interest are the techniques of examination of the GDV-glow parameters of air force pilots and astronauts. Military doctors participated in the development of these techniques. In all these cases the GDV-method allows obtaining unique prognostic information on the state of the human organism. An original approach is presented in the joint work of the SPbSU ITMO employees and the specialists of the US cosmetic industry who deals with revealing human reactions to odorous substances. And, finally, the application of the GDV-method in ecology is undoubtedly of great practical interest. During collaborate research with specialists from Malaysia the scientists investigated the reactions of a group of humans to a 6 week application of natural mineral water, commercial drinking water and common salt solution. Another publication of a group of Russian investigators examines the changes of the glow parameters of plants under the influence of various factors.

The articles of this special issue of journal characterize the scientific work of the employees and post-graduate students of the CSD department during the last few years. They clearly demonstrate that the GDV-bioelectrography method in its present state is a mature field of science and its achievements are actively introduced into practice. Though these articles represent but a part of all the directions of research of the CSD department and the areas of practical application of the GDV-method, they outline the active development of a new field of science.

К. Г. КОРОТКОВ, [Ю.А. ГАТЧИН](#), Б.А. КРЫОВ

*Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики
и оптики*

ФИЗИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ И ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ ГРВ БИОЭЛЕКТРОГРАФИИ

Рассмотрены основные физические процессы, протекающие при газоразрядной визуализации (ГРВ) объектов различной природы. Приведены основные параметры систем формирования изображений, комплекса вычисляемых параметров изображений, а также серийно выпускаемых ГРВ приборов.

Введение

Свечение объектов различной природы в электромагнитных полях высокой напряженности было обнаружено более 200 лет назад и с тех пор постоянно привлекало внимание исследователей (обзор литературы можно найти в [1, 2]). Однако только с созданием программно-аппаратных комплексов газоразрядной визуализации (ГРВ) в 1995 году исследование этих свечений получило статус научного направления. С тех пор были детально исследованы физические механизмы формирования свечений [3], налажено серийное производство приборов, созданы комплексы программ для приложений в медицине, биологии, исследовании материалов [4]. Было показано, что характеристики свечения поверхности кожного покрова человека зависят, в первую очередь, от активности вегетативной нервной системы с учетом системы адаптационных уровней [5].

Программно-аппаратные ГРВ биоэлектрографические комплексы нашли практическое применение в следующих основных областях.

Медицина – для анализа состояния вегетативной нервной системы и мониторинга реакций организма в процессе проводимой терапии [6,7,8]. ГРВ комплекс сертифицирован Минздравом РФ в качестве прибора медицинской техники.

Спорт – для оценки уровня соревновательной готовности спортсменов [9,10]. ГРВ комплекс по приказу Государственного Агентства по физической культуре и спорту устанавливается в училищах Олимпийского резерва России.

Правоохранительные органы – для оценки уровня стресса личного состава и лиц, склонных к противоправным действиям [11].

Исследование жидкостей и материалов – для выявления отличия натуральных и синтетических масел [12], оценки качества косметических препаратов [13], волос человека [14] опасности аллергенов по параметрам ГРВ свечения образцов крови [15] и целого ряда других приложений.

Столь широкий спектр применений обусловлен высокой чувствительностью метода ГРВ к изменениям эмиссионных параметров исследуемого объекта, помещенного в электромагнитное поле высокой напряженности, и применяемых методов обработки информации на базе современных подходов теории и методов искусственного интеллекта.

Физические принципы формирования изображений при газоразрядной визуализации

Для понимания принципов работы приборов газоразрядной визуализации (ГРВ)

рассмотрим принципиальную схему устройства прибора (рис.1). Исследуемый объект 1 помещается на поверхности диэлектрической (в большинстве модификаций кварцевой) пластины 2, на которую подаются импульсы напряжения от импульсного генератора 4, для чего на обратную сторону пластины 2 нанесено прозрачное токопроводящее покрытие 3. При высокой напряженности поля в газовой среде пространства контакта объекта 1 и пластины 2 развивается разряд в газовой фазе 5, носящий название «скользящий газовый разряд» [16], параметры которого определяются свойствами объекта. Свечение разряда 6 с помощью оптической системы и ПЗС-камеры 7 преобразуется в видеосигналы, которые поступают в виде одиночных кадров или серии кадров в компьютер 8. Специализированный программный комплекс позволяет провести обработку изображений (ГРВ-грамм), представляющих собой пространственное распределение освещенности, зависящее от состояния исследуемого объекта. Для примера на рис.2 приведены изображения газоразрядного свечения пальцев рук человека, типичные для различных состояний здоровья. У практически здорового человека (рис. 2 А) свечение равномерное и яркое по всей окружности пальца. У больного (в данном примере кардиологического) свечение характеризуется меньшей яркостью и наличием провалов свечения (рис. 2 Б), в то время как у человека в состоянии физиологического стресса (рис. 2 В) это свечение имеет только ряд отдельных выбросов. На этом же рисунке приведено характерное свечения капли жидкости (рис. 2 Г), несущее информацию о ее физико-химических свойствах.

Анализ больших баз данных людей в различном состоянии позволил, на базе методов компьютерной обработки изображений, определить комплекс параметров, которые в ряде случаев позволяют формировать диагностические заключения. В специализированном программном ГРВ комплексе вычисляются следующие параметры: площадь изображения (количество пикселей изображения ненулевой яркости), распределение пикселей изображения по яркости, и ряд других, описываемых ниже.

При всем многообразии конкретных технических решений сущность процесса визуализации может быть сведена к некоторой теоретической схеме [3]. Первичным процессом является процесс взаимодействия электромагнитного поля (ЭМП) с объектом исследования, в результате которого при определенной напряженности ЭМП с поверхности объекта возникает эмиссия заряженных частиц и фотонов, участвующих в инициировании начальных фаз газового разряда. Газовый разряд, в свою очередь, может влиять на состояние объекта, вызывая вторичные эмиссионные и тепловые процессы. Неоднородность поверхности и объема исследуемого объекта, процессы эмиссии заряженных частиц или выделения газов оказывают влияние на параметры электромагнитного поля, за счет чего изменяются характеристики тока разряда и оптического излучения. При этом основная информация извлекается из характеристик свечения. Приемник излучения преобразует пространственное распределение освещенности в изображение, анализ которого приводит к формированию набора параметров. Из параметров строится симптомокомплекс [17, 18], необходимый для формирования заключения: анализа состояния пациента при конкретном заболевании, количественной оценки уровня психоэмоциональной реакции испытуемого на воздействующие стимулы, оценки уровня стресса и так далее. Дополнительная информация извлекается из анализа динамических рядов изображений, то есть временной динамики процессов [19].

При исследовании объектов различной природы, как биологических (БО), так и неорганических, извлечение информации о состоянии объекта происходит за счет процессов нескольких уровней [3]:

- Объект включен в цепь протекания электрического тока в системе связанных LC контуров (рис.1), поэтому изменения комплексного сопротивления объекта за счет физических и/или физиологических процессов приводит к перераспределению токов в контурах и сказывается на параметрах свечения. В частности, биологический объект представляет собой систему с неоднородным распределением элементов различной проводимости вблизи поверхности, например, кости, кровеносные сосуды, соединительная ткань. Это приводит к формированию

неоднородного рельефа распределения ЭМП вблизи поверхности, что влияет на характер развития разряда.

- Наличие влажности, неоднородностей структуры поверхности приводят к модификации условий развития разряда.
- Выделение газов поверхностью объекта влияет на параметры формирования разряда.
- Подача на поверхность биологического объекта короткого импульса напряжения при аппаратном ограничении протекающего импульсного тока вызывает нервно-сосудистую реакцию как прилегающих участков, так, в определенных случаях, и всего организма. Характер этой реакции зависит от физиологического статуса отдельных органов и систем, что влияет на параметры изображения.

В большинстве случаев формируемое изображение является результатом совместного действия двух процессов. В начале развивается лавинный разряд в узком зазоре, ограниченном поверхностями объекта и диэлектрика (стекла). Этот процесс инициирует скользящий разряд по поверхности диэлектрика. Скользящим разрядом называется электрический разряд, развивающийся по поверхности раздела двух сред, одна из которых - газообразный диэлектрик (воздух), а другая - диэлектрик или полупроводник с конденсированной (твердой или жидкой) фазой [16]. В частности, скользящий разряд возникает при быстроменяющемся напряжении на поверхности тонкослойного диэлектрика, когда другая его сторона покрыта токопроводящим слоем, при резко неравномерном электрическом поле. Примером такого типа разряда является разряд в системе электродов металлическое острие – плоский электрод, покрытый слоем диэлектрика, когда острие расположено перпендикулярно плоскости. Эта система служит хорошей моделью при исследовании пальцев рук человека.

Длина разрядных треков (стримеров) и импульсный ток зависят как от геометрии системы, так и от параметров окружающей среды и подаваемого напряжения. Знание этих зависимостей важно при конструировании ГРВ приборов. В большинстве случаев эти зависимости выражаются эмпирическими формулами [16, 20, 21], отражающими влияние различных параметров системы.

$$L = k C^2 U^5 V^{0,25} \quad (1)$$

где C {Ф/см²}- удельная поверхностная емкость; $2 < L < 10$ - длина скользящего разряда {мм}; U {кВ} - приложенное напряжение; V {Вс⁻¹} - скорость нарастания напряжения; k - коэффициент, равный $(13-21) \cdot 10^{13}$ в зависимости от полярности напряжения, материала диэлектрика и формы воздействующего напряжения (импульсного или синусоидального). Отметим, что при длительности импульса меньше 10^{-9} с разряд этого типа вообще не развивается.

Длина стримеров при подаче напряжения положительной полярности увеличивается с увеличением толщины диэлектрика, при отрицательной полярности напряжения длина стримеров уменьшается с увеличением толщины диэлектрика, что описывается эмпирической формулой (с учетом знака U) [21]:

$$L = -40 + 8,5U - 10 \ln d/d_0, \quad (2)$$

где L {мм}, $3 < U < 30$ кВ, $0,1 < d < 10$ мм, $d_0 = 1$ мм.

В ГРВ устройствах на электроды подают серию биполярных импульсов напряжения. При каждом из них возникает соответствующая фаза разряда, и окончательная картина представляет собой суперпозицию изображений от положительного и отрицательного разрядов (с учетом искажения электрического поля положительным поверхностным зарядом, оставшимся после предыдущих разрядов) [3]. Для ГРВ используется лишь слаботорочная – лавинная фаза этого разряда, при которой интегральная величина тока в импульсе не превышает 50 мА.

По результатам проведенных автором исследований, совпадающих с данными [21, 22], наличие на поверхности шероховатостей, пыли или влаги, если с ними не связано изменение поверхностной проводимости, не сказывается на изображении. В случае электродной системы острие-плоскость поверхностный разряд всегда дает строго симметричные фигуры, между тем при исследовании жидкостей и биологических объектов, наблюдаются фигуры сложной формы (см. рис.2).

Спектр излучения поверхностного разряда в воздухе состоит в основном из молекулярных полос второй положительной системы азота, а также содержит линии CO , CO_2 и O_2 [3] что обычно наблюдается в слаботочном разряде в воздушной среде. Основная область спектра излучения находится в диапазоне 280-800 нм. В электроположительных газах (воздух, азот, водород и др.) вид газоразрядных фигур качественно идентичен, в то время как введение электроотрицательных добавок (например, CCl_4) вызывает кардинальное изменение всей фигуры: резкое уменьшение размера и подавление "тонкой структуры" изображения. По данным [16, 22] это связано с тремя основными процессами: поглощением иницирующих медленных электронов, что препятствует развитию электронных лавин; поглощением вторичных электронов, рожденных в лавине; искажением электрического поля за счет отрицательных ионов.

Основные информативные признаки объектов, проявляющиеся при Газоразрядной Визуализации.

При ГРВ информация об объекте передается на параметры изображения за счет его воздействия на характеристики разряда: интенсивность, длительность, частоту следования и пространственное распределение отдельных лавинных актов, а также спектральный состав излучения. В качестве основных информативных признаков биологических объектов можно выделить:

- факторы, вызывающие изменение электрического поля в разрядном зазоре (например, неоднородность структуры поверхности или объема), так как при одинаковой концентрации иницирующих частиц в областях с максимальной напряженностью электрического поля лавинные разряды возникают преимущественно и развиваются более интенсивно по сравнению с соседними областями;
- пространственная или временная неоднородность эмиссионных свойств поверхности объекта, так как от них зависят как величина тока разряда, так и частота следования разрядов;
- пространственная или временная неоднородность собственного газовыделения (или испарения) поверхности объекта, так как оно влияет на состав газовой среды в зазоре, а, следовательно, на интенсивность разряда и спектральный состав излучения;
- неоднородность поверхности объекта по электропроводности или ее изменения во времени, так как от нее зависят интенсивность отдельных актов разряда и их частота следования;
- общий импеданс электрической цепи, зависящий, при постоянстве прочих параметров, от электрических свойств исследуемого объекта, его поверхности и объема.

Аналитические модели, развитые в последние годы, в совокупности с экспериментальными данными позволили сделать следующие выводы, существенные для практической реализации метода ГРВ биоэлектрографии:

- Характер физических процессов в рамках единичного акта разряда практически не зависит от формы подаваемого напряжения (синусоидального или импульсного), а определяется перераспределением электрического поля в разрядном зазоре благодаря накоплению поверхностного заряда на ограничивающих электродах и исследуемом объекте.
- Оптимальным является использование последовательности коротких импульсов напряжения. Сопоставление ГРВ-грамм, полученных при различных длительностях импульсов T_U показало, что наилучшее качество выявления металлических включений в толще диэлектрика наблюдается при $5\text{ мкс} < T_U < 15\text{ мкс}$. В ГРВ приборах длительность импульсов выбрана 10 мкс, что представляется оптимальным с точки зрения выявляемости структурных неоднородностей.
- Математический анализ тепловых процессов на поверхности биообъекта в условиях получения ГРВ биоэлектрограмм показывает, что при характерном времени воздействия 10^{-5} с выделяемой в разряде мощности оказывается недостаточно для сколь-нибудь заметного температурного воздействия на объект. Это свидетельствует о невозможном характере процесса измерения.

- Используемые в ГРВ исследованиях биологические жидкости: природная вода, кровь, моча – имеют естественные микровключения, которые поляризуются в приложенном электрическом поле и являются источниками микронеоднородностей. Анализ структуризации этих жидкостей в условиях ГРВ показывает, что в рассматриваемом объеме жидкости формируется стационарное неоднородное распределение микровключений [3]. Основная причина этого явления – возникновение поля давлений вблизи колеблющегося тела в покоящейся жидкости. В результате этого процесса жидкость из гомогенного состояния переходит в состояние объемно неоднородного диэлектрика и к ней применимы соображения об искажении электрического поля над поверхностью подобного диэлектрика.

Принципы построения программно-аппаратных ГРВ комплексов

Развитые на основании исследованных физических процессов принципы были реализованы в программно-аппаратных ГРВ комплексах. Высокопроизводительный RISC микроконтроллер позволяет проводить управление прибором и выбор рабочих параметров от ЭВМ, синхронизировать работу всех блоков, а также настраивать параметры прибора при проведении метрологических испытаний. Микроконтроллер управляет главным блоком питания и импульсным стабилизатором, напряжение от которого подается на блок формирования высоковольтных импульсов. Программируемая задержка записи телевизионного сигнала по отношению к поданному импульсу напряжения позволяет отслеживать динамику реакции биологического объекта на импульс возбуждения.

Стандартная модификация прибора имеет следующие параметры: амплитуда биполярных импульсов от 3 до 20 кВ с непрерывно/ступенчатой регулировкой; длительность импульсов 10 микросекунд; частота следования импульсов до 1000 Гц; установка времени экспозиции в диапазоне 0,1 с до 32 с; осуществление двухсторонней связи с компьютером по USB порту, что позволяет как передавать информацию (команды) в прибор, так и осуществлять диагностику режимов работы прибора; кварцевая стабилизация всех параметров с точностью не хуже 1%; габариты порядка 250х350х80 мм, масса порядка 3 кг. прибор работает как от источника постоянного тока напряжением 12 В, так и от сети переменного тока напряжением 110-220 В на базе импульсных схем стабилизации.

Параметры ГРВ-грамм, используемые для анализа

Существующие прикладные пакеты обработки изображений не могут быть использованы для обработки ГРВ-грамм в связи со спецификой возникающих задач, необходимостью учета диагностических гипотез и проведения обработки на уровне систем принятия решения. Поэтому была разработана программная среда обработки и анализа ГРВ-грамм, ориентированная на работу в различных предметных областях. Адаптация осуществляется за счет комбинации оптимальных для данной предметной области операций из библиотеки, выбора соответствующих процедур и (или) подбора оптимальных пороговых значений.

В состав библиотеки включены следующие основные алгоритмы.

Подавление высокочастотной составляющей шума. Алгоритм основан на пороговом методе обработки изображений с учетом особенностей ГРВ-грамм [17].

Подавление низкочастотной составляющей шума (помехи). В работах [18, 19] предложен подход, в основе которого лежит эвристически определяемая мера зашумленности изображения, определяемая на основе анализа фрагментного спектра изображения с вычислением площади S_m и медианы k_0 этого спектра. Пороговое значение фона q вычисляется как функция от S_m и k_0 , т.е. $q=f(S_m, k_0)$. В простейшем случае это может быть часть общей площади спектра, т.е. $q=h_3*S_m$, где h_3 настраиваемый коэффициент, обычно $h_3<1$. Все компоненты размером меньше q удаляются из изображения.

Для оценки специфических изменений изображений, характерных для конкретных задач, разработан набор автоматизированных функций вычисления следующих количественных параметров ГРВ-грамм [17, 18, 19].

Общая площадь изображения (в пикселях): $S = \sum_x \sum_y p_{ij}$, где $p_{ij} = 1$, если $b(i,j) \geq t$ и $p_{ij} = 0$, если $b(i,j) < t$; $b(i,j)$ – значение яркости элемента изображения (пикселя), t – пороговое значение яркости, определяемое экспертным путем в зависимости от решаемой задачи.

Интегральная яркость изображения (в относительных единицах от 0 – абсолютно черное, до 250 – абсолютно белое):

где $d[i]$ – количество пикселей изображения, для которых $b(x,y)=i$, $i \in (0, 250)$;

$$PJ = \sum_{i=0}^n d[i]i / \sum_{i=0}^n d[i];$$

~~Ширина яркостного спектра изображения (в относительных единицах от 0 до 250): $LJ = K - N$, где $K = \max\{b_i(x,y)\}$ для всех i , принадлежащих области изображения; $N = \min\{b_i(x,y)\}$ для всех i , принадлежащих области изображения.~~

Коэффициент формы (безразмерная величина, равная 4π для окружности и растущая при усложнении формы фигуры): $q = L^2/S$, где L – длина периметра изображения свечения, S – общая площадь изображения свечения.

Широкое практическое применение нашел нормализованный коэффициент интегральной площади ГРВ изображения, вычисляемый по следующей формуле:

$$JS = a \ln \{(S/S^*)/(SO/SO^*)\},$$

где a – весовой коэффициент, S – значение площади оцениваемой ГРВ-граммы, S^* – значение площади ГРВ-граммы калибровочного металлического цилиндра, SO – значение площади внутреннего овала оцениваемой ГРВ-граммы, SO^* – значение площади внутреннего овала ГРВ-граммы калибровочного цилиндра [3].

Этот безразмерный коэффициент позволяет сравнивать ГРВ изображения, снятые в различные дни и в различных условиях, он стабилен для практически здорового человека и чувствителен к изменениям состояния при первых признаках заболевания. Медики активно используют этот параметр в прогностических целях [6-10,25].

Следующий комплекс расчетов основан на преобразовании исходного изображения из сферической системы координат в декартову систему одномерных кривых-векторов, что производится на основании уравнений Эйлера по яркостным и векторным эквиденситам. Изображение может быть представлено как безразмерная функция $F(x)$ некоторого аргумента x от угла в пределах $[0-2\pi]$. В качестве функции $F(x)$ может выступать максимальная длина радиуса изображения, длина медианы, яркость или средние величины по радиусу. Как правило, функция $F(x)$ неоднородна и меняется достаточно хаотически. Без больших погрешностей можно рассматривать ее как часть неограниченной переменной и применить аппарат описания статистических зависимостей, что позволяет вычислить ряд параметров. Наиболее важным из этих параметров является информационная ~~энтропия~~Энтропия ГРВ-грамм, алгоритм вычисления которой представлен в [23]. Это понятие широко используется в термодинамике для определения меры необходимого рассеяния энергии и в статистической физике в качестве меры вероятности пребывания системы в данном состоянии. В 1949 году энтропия была введена Шенноном в теорию информации как мера неопределенности исхода эксперимента. Оказалось, что понятие энтропии является одним из фундаментальных свойств любых систем с вероятностным поведением, обеспечивая новые уровни понимания в теории кодирования информации, лингвистике, обработке изображений, статистике, биологии [3, 25]. В соответствии с концепциями Нобелевского лауреата И.Пригожина в процессе роста и развития организма происходит уменьшение скорости продуцирования энтропии, отнесенной к единице массы объекта. При достижении стационарного состояния суммарное изменение энтропии

можно считать равным нулю, что соответствует взаимной компенсации всех процессов, связанных с поступлением, удалением и превращением вещества, энергии и информации. И.Пригожин сформулировал основное свойство стационарного состояния открытых систем: при фиксированных внешних параметрах скорость продукции энтропии, обусловленная протеканием необратимых процессов, постоянна во времени и минимальна по величине $dS/dt \rightarrow \min$. Таким образом, согласно теореме Пригожина, стационарное состояние характеризуется минимальным рассеянием энтропии, что для живых систем можно сформулировать следующим образом: поддержание гомеостазиса требует минимального потребления энергии, т.е. организм стремится работать в самом экономном энергетическом режиме. Отклонение от стационарного состояния – заболевание – связано с дополнительными энергетическими затратами и ростом энтропии.

ГРВ энтропия ~~Энтропия~~ является безразмерной величиной, характеризующей степень регулярности ~~изрезанности~~ контура изображения, вычисленного при определенной яркости.

В таблице 1 приведены параметры, вычисленные для газоразрядных изображений рис. 2. Как видно из приведенных данных, наибольшая площадь наблюдается у ГРВ-граммы пальца руки здорового человека (рис. 2А), при этом у этого изображения наименьшая энтропия. У пальца руки больного человека (рис. 2Б) площадь существенно меньше, энтропия выше. У человека в стрессе (рис. 2В) максимальное значение энтропии из трех приведенных изображений.

Таблица 1. Параметры изображений, приведенных на рис.-2.

	Площадь	Коэф. Формы	Энтропия	Яркость
рис 2А	27590	17,7616	1,70836	90,2818
рис 2Б	7491	7,59297	1,84758	93,5127
рис 2В	17425	19,2952	2,14139	90,8165
рис 2Г	15212	7,27383	2,08194	91,0102

Отмеченные параметры послужили основной для типизации ГРВ изображений на три основные группы по степени «ухудшения» изображений: I, II, III [2,3]. Внутри каждой группы вводится более мелкое подразделение, обозначаемое буквами: Ia, Ib, Ic ; IIa, IIb, IIc ; IIIa, IIIb

Рисунки 2А,Б,В иллюстрируют основные отмеченные типы ГРВ изображений. Как показали многочисленные исследования [2,3,5-10] каждый тип связан с определенным психологическим и физическим типом человека. Например, тип I может наблюдаться у физически здорового, психически стабильного, эмоционально устойчивого человека с высоким уровнем иммунитета. II тип характерен для людей с более серьезными проблемами на физическом или психологическом уровне. III тип характерен для состояния хронической психоэмоциональной напряженности и стресса, приводящей к развитию психовегетативных расстройств (вегетозов) [26].

Псевдоокрашивание. Для визуальной оценки изображения в системе предусмотрено три алгоритма псевдоокрашивания, ориентированные на выделение различных участков ГРВ-грамм. В первом алгоритме яркостной спектр изображения разбивается на K_i частей равной площади и каждому участку присваивается определенный цвет $S_k(b)=const$. Во втором алгоритме участок спектра, занимаемый изображением, разбивается на K_i равных частей. И в третьем алгоритме весь спектр разбивается на K_i равных частей.

Структура программного ГРВ комплекса

Все вышеперечисленные процедуры объединены в программный комплекс «ГРВ» работающий в среде Windows [18, 19, 24]. Обобщенная структура программного комплекса представлена на рис. 3. Она состоит из нескольких подсистем.

Информационная подсистема предназначена для автоматизированного ведения базы данных (БД) исследуемых объектов и испытуемых, а также организации взаимосвязей между всеми программными блоками. ~~Посредством~~~~Посредствам~~ ее интерфейса оператор получает доступ к архивам тестирований, осуществляет активизацию тестирующей или аналитической компонент. Информационная подсистема должна реализовывать функции:

- регистрация нового объекта или испытуемого в БД-тестирований;
- поиск и вывод информации по ранее проведенным тестированиям;
- объявление и ввод дополнительных характеристик для идентификации состояния испытуемого или свойств объекта и автоматическое внесение новых параметров в структуру базы данных;
- автоматическое формирование отчетных документов с выводом на экран, принтер, в файл;
- организация информационного обмена с другими подсистемами.

Подсистема ГРВ-тестирования предназначена для автоматизированной регистрации статических или динамических ГРВ-грамм путем программной реализации модулей видеозахвата и управления прибором «ГРВ камера», основанных на разработанных протоколах программно-аппаратного взаимодействия. Основными функциями этой подсистемы являются:

- обеспечение взаимодействия с контроллером прибора «ГРВ камера», установка и контроль параметров напряжения;
- управление модулем видеозахвата для обеспечения оптимальных характеристик изображений ГРВ-грамм;
- сохранение графических и видео файлов ГРВ-грамм в БД;

Подсистема расчета динамических ГРВ-параметров предназначена для автоматизированного расчета временных рядов числовых характеристик динамических ГРВ-грамм. Программные модули подсистемы расчета параметров выполняют следующие функции:

- фильтрация шумового фона ГРВ-граммы и отображение изображений в различных цветовых палитрах для визуального анализа;
- расчет значимых топологических характеристик изображения, таких как центр свечения разряда, внутренний и внешний контур;
- расчет числовых параметров по отдельным кадрам видеоизображения динамической ГРВ-граммы и формирование временного ряда параметров;
- вычисление характеристик временных рядов на базе методов статистического и спектрального анализа;

Экспертно-аналитическая подсистема предназначена для автоматического формирования решения о состоянии испытуемого или свойствах объекта на основании базы знаний (БЗ) и данных, полученных путем анализа ГРВ-грамм. Подсистема основана на концепции интеллектуальных экспертных систем. Основные функции подсистемы:

- обеспечение формирования правил и логического вывода в БЗ;
- формирование новых аналитических параметров;
- загрузка данных тестирований из БД;
- формирование описания состояния испытуемого или характеристик объекта на языке аналитических параметров исходя из значений ГРВ-параметров и БЗ;
- построение рейтинга группы испытуемых на основании одного из аналитических параметров или их суперпозиции.

На основе этого комплекса разработан ряд модификаций для исследования параметров газоразрядного свечения объектов различной природы. На рис.4 приведены примеры программных экранов.

Заключение

Разработанный в СПбГУ ИТМО программно-аппаратный ГРВ комплекс представляет собой систему, использующую последние достижения электроники, ~~самые~~ современные методы обработки изображений и ~~формирования~~ ~~вывода~~ заключений на основе больших массивов данных. С каждым годом расширяется сфера применения методов ГРВ биоэлектрографии в биологии, медицине, спорте, исследовании материалов. В связи со сложностью используемых технических и программных решений метод ГРВ не имеет мировых аналогов и получает все большее международное признание. Метод ГРВ биоэлектрографии – это пример Российских инновационных технологий, основанных на серьезной научной базе и доведенных до уровня практического внедрения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коротков К.Г. Эффект Кирлиан. СПб., 1995, 218 с.
2. От эффекта Кирлиан к биоэлектрографии. Под ред. К.Г. Короткова СПб., 1998, 340 с.
3. Коротков К.Г. Основы ГРВ биоэлектрографии. – СПб, Издво СПбГИТМО, 2001. 360с.
4. Коротков К.Г., Крылов Б.А. Работа с прибором ГРВ Камера. Обработка результатов измерений в программах комплекса ГРВ Электрографии. Часть 2. Программное обеспечение комплекса.// Методические указания к лаб.раб./ СПбГИТМО. СПб. 2003. 20с.
5. Дроздов Д.А., Шацилло О.И. анализ ГРВ - биоэлектрографических изображений с позиций вегетологии. Труды международной конференции «Наука, Информация, Сознание», СПб, 2005, СС. 99-104.
6. Полушин Ю.С., Струков Е.Ю., Широков Д.М., Коротков К.Г. Возможности метода газоразрядной визуализации в оценке операционного стресса у больных с абдоминальной хирургической патологией // Вестн. Хирургии. 2002. Т.161, №5. С.118.
7. Струков Е.Ю. Возможности метода газоразрядной визуализации в оценке функционального состояния организма в периоперационном периоде. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата медицинских наук. С-Петербург, ВМедА, 2003
8. Александрова Р.А., Шульга А.Ф, Петровский ИД, Галкина ОВ, Нутфуллина ГМ, Зайцев С.В., Магидов М.Ю. Пягай ЕИ. Результаты лечения больных с мультиморбидной патологией с помощью малых воздействий. Ученые Записки СПб государственного медицинского университета им. акад. И.П. Павлова. т.IX, № 4, 2002, сс. 75-78
9. Макаренко А.И. Результаты и перспективы использования технологии квантовой биофизики в подготовке высококвалифицированных спортсменов. Теория и практика физической культуры. 2003, 3:26-43
10. Бундзен П.В, Коротков К.Г., Короткова А.К., Мухин В.А., Прияткин Н.С.. Психофизиологические корреляты успешности соревновательной деятельности спортсменов Олимпийского резерва. Физиология человека. 2005, т. 31, № 3, сс. 1-9.
11. Коротков К.Г., Крыжановский Э.В., Филатов С.И., Филиппосьянц Ю.Р. Метод выявления лиц, склонных к совершению противоправных действий. М.: ГУ НПО «Специальная техника и связь» МВД России, 2005. —32 с.
12. Korotkov K., Krizhanovsky E., Borisova M., Hayes M., Matravers P., Momoh K.S., Peterson P., Shiozawa K., and Vainshelboim A. The Research of the Time Dynamics of the Gas Discharge Around Drops of Liquids. J of Applied Physics. 2004, v. 95, N 7, pp. 3334-3338.

13. Vainshelboim A.L., Hayes M.T., Korotkov K., Momoh K.S. *GDV Technology Applications for Cosmetic Sciences* IEEE 18th Symposium on Computer-Based Medical Systems (CBMS 2005). Dublin, Ireland. June 2005.
14. Vainshelboim A.L., Hayes M.T., Korotkov K., Momoh K.S. *Observing the Behavioral Response of Human Hair to a Specific External Stimulus Using Dynamic Gas Discharge Visualization* Journal of Cosmetic Science. Proceedings of the First International Conference on Applied Hair Science. Full Manuscript. Princeton, New Jersey. June 9-10, 2004. pp. S91-S104.
15. Диагностика этиологии аллергии с применением газоразрядной визуализации (ГРВ). / Метод. пособие// ВМедА, СПб. – 2005. – 39 с.
16. Дашук П.Н. Скользящий разряд в устройствах газоразрядной визуализации. Тезисы докл. межд. научн. конгр. «Наука, Информация, Сознание», СПб 1999; С.70.
17. Крылов Б.А. Автоматизированное проектирование предметно-ориентированных процедур обработки и анализа двумерных ахроматических изображений. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. С-Петербург, СПбГИТМО, 2002.
18. Муромцев Д.И. Автоматизированная система обработки и анализа динамических ГРВ-грамм биологических объектов. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. С-Петербург, СПбГИТМО, 2003.
19. Бабицкий М.А. Автоматизированное проектирование систем анализа динамических газоразрядных изображений. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. С-Петербург, СПбГИТМО, 2003.
20. Toepler M. Uber die physikalischen Grundgezete der in der Isolatorentechnik auftretenden elektrischen Gleiterscheinungen // Arch. Fur Elektr. – 1921. – В. 10. – № 5/6. – S. 157-185.
21. Грановский В.Л. Электрический ток в газе. Установившийся ток. Наука, М. 1971;560с.
22. Merrill F.H., Hippel A. // J. Appl. Phys. – 1939. – V. 10. – № 12. – P. 873.
23. Korotkov K., Korotkin D. Concentration dependence of gas discharge around drops of inorganic electrolytes. J of Applied Physics, 2001, 89, 9, 4732-4737.
24. Крыжановский Э.В. Метод контроля жидкофазных объектов на основе газоразрядной визуализации. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. С-Петербург, СПбГИТМО, 2003.
25. Measuring Energy Fields: State of the Art. GDV Bioelectrography series. Vol. I. Korotkov K. (Ed.). Backbone Publishing Co. Fair Lawn, USA, 2004. 270 p.
26. [Парцерняк С. А. Стресс. Вегетозы. Психосоматика. Изд. А.В.К. С-Петербург, 2005](#)

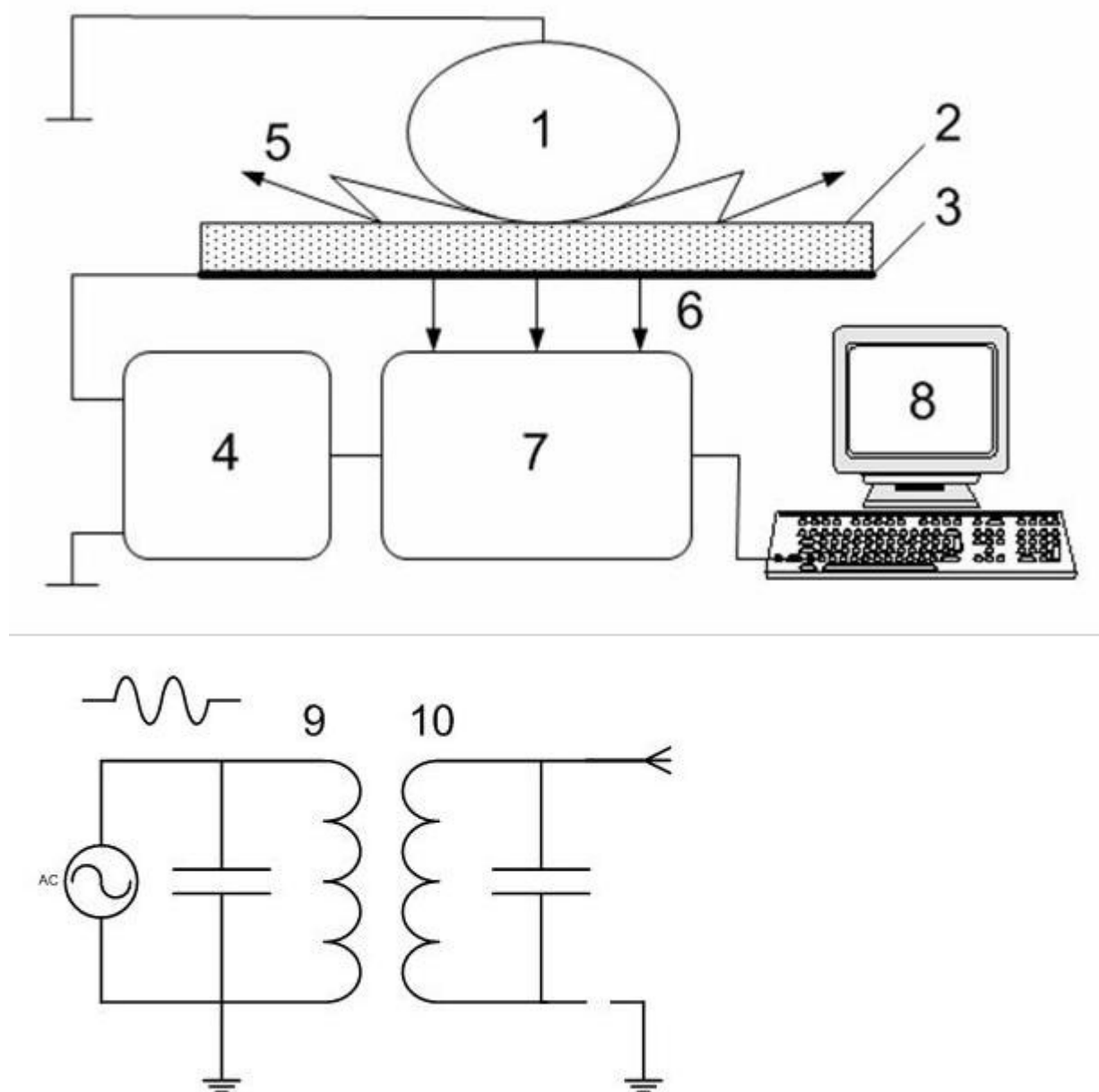
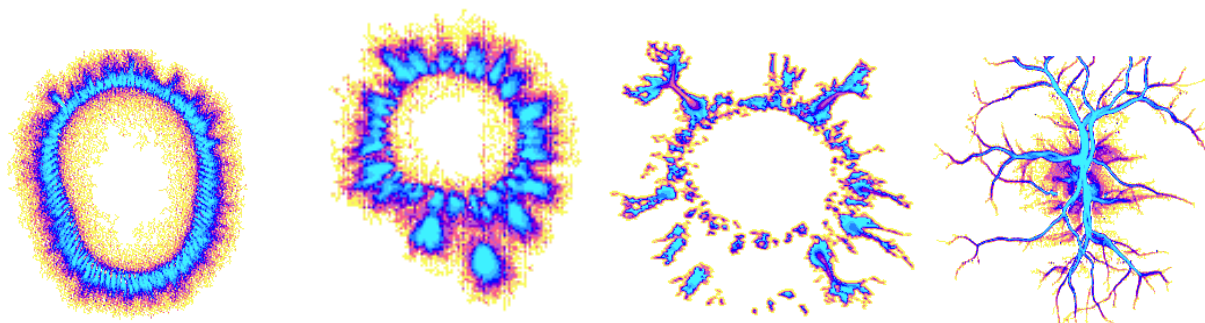


Рис.1. Принципиальная схема метода газоразрядной визуализации (ГРВ). 1 - исследуемый объект; 2 - диэлектрическая пластина (кварц); 3 - прозрачное токопроводящее покрытие; 4 - генератор импульсов; 5 - скользящий газовый разряд; 6 - свечение разряда; 7 - оптическая система и ПЗС-камера; 8 – компьютер; 9, 10 – система связанных LC контуров, образованных элементами схемы прибора и эквивалентной емкостью исследуемого объекта.



А.

Б.

В.

Г.

Рис. 2. Примеры ГРВ-грамм. А – палец руки практически здорового человека; Б – палец руки кардиологического больного; В – палец руки человека в стрессе; Г – капля жидкости.



Рис.3. Структура программно-аппаратного ГРВ комплекса.

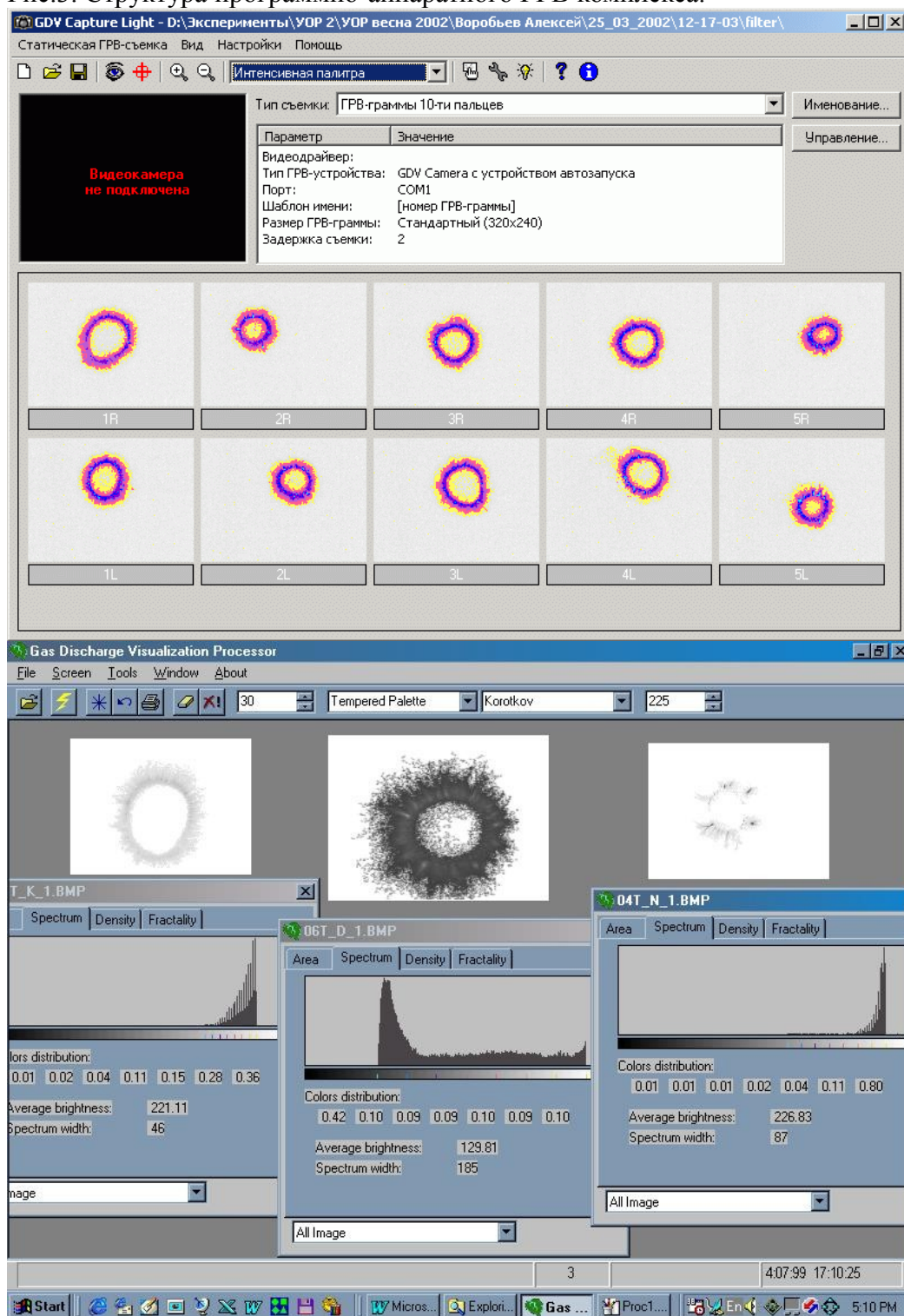


Рис. 4. Примеры экранов ГРВ программ.

К. Г. КОРОТКОВ¹, Б. ВИЛЛИАМС², Л. А. ВИСЧЕСКИ³

¹ Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики; ² Университет «Холос», Фэйрвью, Миссури, США; ³ Медицинский центр университета Джорджа Вашингтона, США

БИОФИЗИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ МЕТОДА ГРВ БИОЭЛЕКТРОГРАФИИ

Рассматриваются современные биофизические представления о механизме переноса зарядов в биологических тканях. Для объяснения биофизических механизмов методики ГРВ предлагается использовать концепцию туннельного транспорта электронов между отдельными белковыми молекулами.

На основании достижений квантовой биофизики был развит целый ряд подходов, позволяющих исследовать прижизненную активность биологических систем. Прежде всего, это спектральные методы, среди которых необходимо отметить методику измерения собственной флуоресценции биологических систем, развитую коллективом авторов под руководством В.О. Самойлова. Эта методика позволяет одномоментно измерять флуоресценцию на длине волны $\lambda = 460$ нм (синий свет) и $\lambda = 520-530$ нм (желто-зеленый свет) при возбуждении ультрафиолетом ($\lambda = 365$ нм) [1]. Методика была доведена до практического уровня удобных эндоскопических приборов, что позволило разработать раннюю диагностику злокачественных заболеваний желудочно-кишечного тракта, лимфатических узлов в процессе хирургических операций, кожи. Принципиально важной оказалась оценка степени жизнеспособности тканей в процессе хирургических операций для проведения экономной резекции. Прижизненная

флуометрия дает, кроме статических показателей, динамические характеристики биологических систем, так как позволяет проводить функциональные пробы и исследовать зависимость типа «доза-эффект». Это обеспечивает в клинике надежную функциональную диагностику и служит инструментом экспериментального изучения интимных механизмов патогенеза заболеваний.

Подобные же задачи во многом решает и метод газоразрядной визуализации. Стимулирование эмиссии электронов и фотонов с поверхности кожного покрова происходит за счет коротких (10 мкс) импульсов электромагнитного поля (ЭМП). Как показали измерения при помощи импульсного осциллографа с памятью, во время действия импульса ЭМП развивается серия импульсов тока (и свечения) длительностью примерно 10 нс каждый. Развитие импульса обусловлено ионизацией молекул газовой среды за счет эмитированных электронов и фотонов, срыв импульса связан с процессами зарядки диэлектрической поверхности и возникновением градиента ЭМП, направленного противоположно исходному полю [2]. При подаче серии стимулирующих импульсов ЭМП с частотой следования 1000 Гц эмиссионные процессы развиваются в течение времени действия каждого импульса. Телевизионное наблюдение временной динамики свечения участка кожного покрова диаметром несколько миллиметров и покадровое сравнение картин свечения при каждом импульсе напряжения свидетельствует о возникновении эмиссионных центров практически в одних и тех же точках кожи.

За столь короткое время – 10 нс – **ионно-деполизационные процессы** в ткани развиваться не успевают [3], поэтому ток может быть обусловлен транспортом электронов по структурным комплексам кожи или иной исследуемой биологической ткани, включенной в цепь протекания импульсного электрического тока. Биологические ткани принято разделять на проводники (в первую очередь биологические проводящие жидкости) и диэлектрики. Для объяснения эффектов стимулированной электронной эмиссии необходимо рассматривать механизмы

транспорта электронов по непроводящим структурам. Неоднократно высказывались идеи применить к биологическим тканям модель полупроводниковой проводимости. В соответствии с современными представлениями [4], полупроводниковая концепция не получила подтверждения для биологических систем. В настоящее время наибольшее внимание в этой области привлекает к себе концепция туннельного транспорта электронов между отдельными белковыми молекулами-переносчиками, отделенными друг от друга энергетическими барьерами.

Процессы туннельного транспорта электронов в молекулярных системах хорошо экспериментально изучены и промоделированы на примере переноса электронов по белковой цепи. Туннельный механизм обеспечивает элементарный акт переноса электрона между донорно-акцепторными группами в белке, находящимися друг от друга на расстоянии порядка 0,5 – 1,0 нм [4]. Однако существует много примеров, когда электрон переносится в белке на гораздо большие расстояния. Существенно, что при этом перенос происходит не только в пределах одной молекулы белка, но может включать взаимодействие разных белковых молекул. Так, в реакции переноса электрона между цитохромами (цитохром - специфическое соединение, которое образует систему переноса электронов, представляющее собой белковую молекулу, к которой присоединена химическая группировка называемая гемом) с и цитохромом-оксидазой (одного из ферментов системы переноса электронов) и цитохромом b_5 оказалось, что расстояние между гемами взаимодействующих белков составляет более 2,5 нм [4]. Характерное время переноса электрона составляет $10^{-11} - 10^{-6}$ с, что соответствует времени развития единичного эмиссионного акта в методе ГРВ.

Проводимость белков может носить примесный характер. По данным экспериментов, значение подвижности в переменном электрическом поле составили для цитохрома $\sim 1 \cdot 10^{-4}$ м²/(В см), для гемоглобина $\sim 2 \cdot 10^{-4}$ м²/(В см). В целом оказалось, что для большинства белков проводимость осуществляется в

результате переходов электронов между локализованными донорными и акцепторными состояниями, разделенными расстояниями в десятки нанометров. Лимитирующей стадией в процессе переноса является не движение заряда по токовым состояниям, а релаксационные процессы в доноре и акцепторе.

В последние годы удалось рассчитать реальные конфигурации такого рода электронных траекторий в конкретных белках. В этих моделях белковая среда между донором и акцептором разбивается на отдельные блоки, связанные между собой ковалентными и водородными связями, а также невалентными взаимодействиями на расстоянии порядка Ван-дер-ваальсовых радиусов. Электронная траектория, таким образом, представляется комбинацией тех атомных электронных орбиталей, которые дают наибольший вклад в величину матричного элемента взаимодействия волновых функций компонентов [4].

В то же время общепризнанно, что конкретные пути переноса электрона не носят строго фиксированный характер. Они зависят от конформации молекул белка и могут соответственно меняться в различных условиях. При вычислении константы переноса принимались во внимание орбитали целого ряда электронно-взаимодействующих атомов аминокислотных остатков белка между донорной и акцепторной группами, которые дают наибольший вклад в суперобменное взаимодействие. Оказалось, что для отдельных белков получаются более точные линейные зависимости, чем при учете одной-единственной траектории.

Трансформация электронной энергии в биоструктурах связана не только с переносом электронов, но и с миграцией энергии электронного возбуждения, которая не сопровождается отрывом электрона от молекулы донора. Наиболее важными для биологических систем, по современным представлениям, оказываются индуктивно-резонансный, обменно-резонансный и экситонный механизмы переноса электронного возбуждения. Эти процессы оказываются важными при рассмотрении процессов переноса энергии по молекулярным комплексам, как правило, не сопровождающихся переносом заряда.

Рассмотренные представления показывают, что основным резервуаром свободной энергии в биологических системах являются электронно-возбужденные состояния сложных молекулярных комплексов. Эти состояния непрерывно поддерживаются за счет кругооборота электронов в биосфере, источником которого является солнечная энергия, а основной рабочей средой - вода. Часть состояний тратится на обеспечение текущего энергоресурса организма, часть может запасаться впредь, подобно тому, как это происходит в лазерах после поглощения импульса накачки.

Протекание импульсного электрического тока в непроводящих биологических тканях может обеспечиваться за счет межмолекулярного переноса возбужденных электронов по механизму туннельного эффекта с активированным переходом электронов в контактной области между макромолекулами. Таким образом, можно предположить, что формирование специфических структурно-белковых комплексов в толще эпидермиса и дермиса кожи обеспечивает формирование каналов повышенной электронной проводимости, экспериментально измеряемых на поверхности эпидермиса как электропунктурные точки.

Стимулированная импульсная эмиссия также развивается в основном за счет транспорта делокализованных π -электронов, реализуемых в электрически непроводящей ткани путем туннельного механизма переноса электронов. Это позволяет предположить, что метод ГРВ позволяет косвенным образом судить об уровне энергетических запасов молекулярного уровня функционирования структурно-белковых комплексов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Самойлов В.О.* Электронная схема жизни. Ст. Петербург, Институт физиологии РАН. 2001.
2. *Коротков К. Г.* Основы ГРВ биоэлектрографии. Ст. Петербург. СПбГИТМО. 2001.
3. *Tiller W.* On the evolution of Electrodermal Diagnostic Instruments. *J of Advancement in Medicine*. 1,1, (1988), pp. 41-72.

4. *Рубин А.Б.* Биофизика. М. Книжный дом «Университет». 1999.

М. А. БАБИЦКИЙ, С. А. КОРОТКИНА, К. Г. КОРОТКОВ, Э. В. КРЫЖАНОВСКИЙ,
Д. И. МУРОМЦЕВ

*Санкт-Петербургский государственный университет информационных
технологий, механики и оптики*

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ АНАЛИЗА ДИНАМИЧЕСКИХ ПОЛУТОНОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ГРВ БИОЭЛЕКТРОГРАФИИ

В статье рассмотрены вопросы проектирования систем анализа динамических видеоизображений газового разряда. Авторами разработаны алгоритмы расчета характеристик изображений и анализа временных рядов этих характеристик.

Введение

Современный уровень развития компьютерной техники и аппаратных средств цифровой видеосъемки позволили разработать новую методику – динамическую модель ГРВ биоэлектрографии, которая в отличие от традиционной статической ГРВ-графии, основана на анализе ГРВ-видео, отснятой в течение фиксированного интервала времени. Этот метод позволяет расширить область применения ГРВ-графии за счет использования нового набора количественных характеристик свечения, учитывающих динамическое изменение свойств объекта в процессе воздействия на него переменным электромагнитным полем (ЭМП).

Анализ динамических изображений ГРВ-грамм включает следующую последовательность шагов:

- автоматизированную компьютерную регистрацию видеоизображений ГРВ-грамм, зафиксированных в течение некоторого конкретного интервала времени воздействия переменного импульсного ЭМП;
- сохранение зарегистрированных видеоизображений и сопутствующей информации в специализированной базе данных (БД);
- автоматизированную обработку видеоизображений;
- автоматизированный анализ временных рядов параметров ГРВ-грамм;
- интерпретацию ГРВ-параметров на основании диагностических правил.

В настоящей статье изложены результаты работы по созданию методического и программного обеспечения обработки динамических ГРВ-грамм и анализа временных рядов параметров ГРВ-грамм в задаче проектирования систем анализа ГРВ-грамм.

Структура системы анализа

Общая структура основных блоков системы приведена на рисунке 1. Каждый отдельный модуль реализован в виде библиотеки объектно-ориентированных компонентов. Блок информационной подсистемы обеспечивает формирование и ведение базы данных, просмотр и редактирование списков исследуемых объектов, объявление и назначение объектам различных свойств, определение плана исследования и вызов других компонентов системы. Информационная подсистема предоставляет также программный интерфейс генерации новых и редактирования существующих структур данных для других блоков системы. Подсистема газоразрядного тестирования обеспечивает взаимодействие с прибором «ГРВ камера», регистрацию и предварительную обработку динамических ГРВ-грамм. Модули расчета и анализа временных рядов параметров ГРВ-грамм содержат набор программных компонент, позволяющих в автоматизированном режиме формировать числовые характеристики ГРВ-грамм

для анализа свойств исследуемых объектов. Здесь же находится модуль выявления и фильтрации шума в зашумленном видеоизображении ГРВ-граммы. Результаты расчета являются базой для экспертно-аналитического модуля. Экспертно-аналитический блок содержит модуль экспертной системы (ЭС), программный интерфейс для формирования правил ЭС и процедур расчета аналитических параметров, а также модуль визуализации аналитических параметров системы.

Параметры динамических ГРВ-грамм

Алгоритм анализа ГРВ-видеоизображения включает следующие этапы:

- выделение полезного сигнала из зашумленного изображения ГРВ-граммы;
- расчет количественных параметров для каждого кадра ГРВ-граммы и формирование временных рядов параметров;
- анализ характеристик временных рядов параметров ГРВ-грамм.

На первом этапе выполняется анализ и подавление высокочастотной и низкочастотной составляющих шума, вычисляются центры изображений свечения разряда для всех кадров динамической ГРВ-граммы. Появление высокочастотной составляющей шума связано с работой видеотракта прибора «ГРВ камера», и проявляется в виде случайно распределенных по всей площади изображения на поверхности ПЗС-матрицы пикселей слабой интенсивности. Источником низкочастотной составляющей шума являются погрешности проведения эксперимента, такие как качество заземления, запыленность электрода и др.

Подавление высокочастотной составляющей шума. Алгоритм основан на анализе гистограммы яркостного спектра $S(i)$, где $i \in [0, 255]$ (распределение интенсивностей освещенности пикселей фиксируется в ПЗС видеокамере 8-разрядным двоичным кодом) изображения ГРВ-грамм. Цифровые изображения газового разряда имеют специфическую природу и характерное несимметричное распределение освещенности пикселей с различным уровнем интенсивности, что

позволяет на основании статистических величин этого распределения вычислить порог шума для изображения. Таким образом, уровень шума $n = N(i)$, где $i = 0 \dots 255$, вычисляется как $F(S(i))$, где F определяет характеристику положения i (математическое ожидание, мода, медиана) или сумму этих характеристик.

Подавление низкочастотной составляющей шума. В данной работе предложен подход, в основе которого лежит эвристически определяемая мера зашумленности ГРВ-граммы q минимальной площади фрагментов выбирается. Все фрагменты, площадью меньше q удаляются из изображения.

На втором этапе анализа динамической ГРВ-граммы формируются временные ряды параметров ГРВ-граммы. Для динамических ГРВ-грамм разработан следующий набор числовых характеристик изображения:

Площадь изображения A – количество пикселей с ненулевой интенсивностью;

Средняя интенсивность изображения $\bar{I}$ всех пикселей с ненулевой интенсивностью;

Средний радиус контура изображения разряда $\bar{R}$, в пикселях;

Нормализованное среднеквадратическое отклонение радиуса контура $\sigma_{\bar{R}}$;

Коэффициент формы изображения разряда K_f - отношение квадрата периметра ГРВ-граммы к ее площади (измеряется в относительных единицах);

Временные ряды ГРВ-параметров представляют собой динамические случайно-детерминированные нестационарные процессы. Исходя из этого, в системе используются следующие методы анализа: анализ и вычитание трендов временного ряда; расчет статистических характеристик временного ряда, включая фрактальный и энтропийный анализ; спектральный анализ; статистический анализ совокупности рядов.

В ходе фрактального анализа вычисляется фрактальная размерность кривой временного ряда, предназначенная для оценки сложности процесса изменения ГРВ-параметра в течение времени регистрации ГРВ-граммы. Так как длина

временного ряда параметра ГРВ-граммы относительно невелика (до нескольких сотен точек), для расчета фрактальной размерности был выбран алгоритм Хигучи, требующий небольшие временные промежутки (от 100 до 500 точек временного ряда). Алгоритм Хигучи основан на измерении длины кривой $L(k)$, использующий k масштабов как единиц измерения. Значение фрактальной размерности D_F рассчитывается подгонкой методом наименьших квадратов линии регрессии углового коэффициента на логарифмическом графике уравнения $L(k)=ak^{-D_F}$. Отсюда получаем:

$$D_F = \frac{n \sum x_k y_k - \sum x_k \sum y_k}{n \sum (x_k^2) - (\sum x_k)^2}, \quad \bar{b} = \frac{1}{n} (\sum y_k - D_F \sum x_k),$$

со стандартными отклонениями

$$S_{D_F} = \sqrt{\frac{n(\sum y_k^2 - D_F \sum x_k y_k - \bar{b} \sum y_k)}{(n-2)[n \sum x_k^2 - (\sum x_k)^2]}}, \quad S_{\bar{b}} = \sqrt{\frac{1}{n} S_{D_F} \sum x_k^2}.$$

где $y_k = \ln(L(k))$, $x_k = \ln(1/k)$, $\bar{b} = \ln a$, $k = [k_{min}, k_{max}]$, и n – общее число различных значений k в интервале $[k_{min}, k_{max}]$ для которых рассчитываются значения длины кривой $L(k)$.

Энтропийный анализ позволяет оценить информативность временного ряда параметра ГРВ-граммы. Величина энтропии вычисляется на основании вероятностей p_j получения параметром ГРВ-граммы значения X_j . определяется как

$$H(X) = - \sum_{j=1}^M p_j(X_j) \ln(p_j(X_j)),$$

где $p_j(X_j) = X_j/N$, M – общее количество значений величины x_i , а N – длина временного ряда.

Дискретное преобразование Фурье вычисляет частотный спектр, соответствующий процессу колебания ГРВ-параметра. Если $x_p(t)$ – детрендрованный временной ряд динамической ГРВ граммы длительностью T , то ряд Фурье имеет следующий вид:

$$x_p(t) = a_0 + \sum_i [\alpha_i \cos(2\pi f_i t) + \beta_i \sin(2\pi f_i t)],$$

где a_i и b_i – коэффициенты ряда Фурье и f_i частоты соответствующих гармонических компонент. Данный вид анализа позволяет вычислить доминирующие частоты, формирующие динамический процесс формирования газоразрядного свечения. Исследование частотных спектров показало, что свечение металлического тест-объекта имеет характер белого шума. Временные ряды параметров динамических ГРВ-грамм объектов со сложной внутренней структурой, напротив, характеризуются наличием одной или нескольких доминирующих гармонических компонент.

Заключение

Таким образом, авторами разработана технология проектирования систем анализа динамических газоразрядных изображений. Реализованы все необходимые компоненты, для разработки специализированных систем.

С использованием данной технологии разработано ряд программных комплексов, в частности: система экспресс-анализа психологических характеристик человека (работа выполняется по заказу МВД РФ) и система анализа свойств органических материалов (используемая в лабораториях фирм «Estee Lauder» и «Aveda», США).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Коротков К. Г.* Основы ГРВ биоэлектрографии. СПб: Из-во СПбГИТМО, 2001.
2. *Korotkov K., Korotkin D.* Concentration dependence of gas discharge around drops of inorganic electrolytes, J.Appl.Phys. 2001, Vol.89. pp. 4372-4376.

Рекомендована кафедрой
проектирования компьютерных
систем

Поступила в редакцию

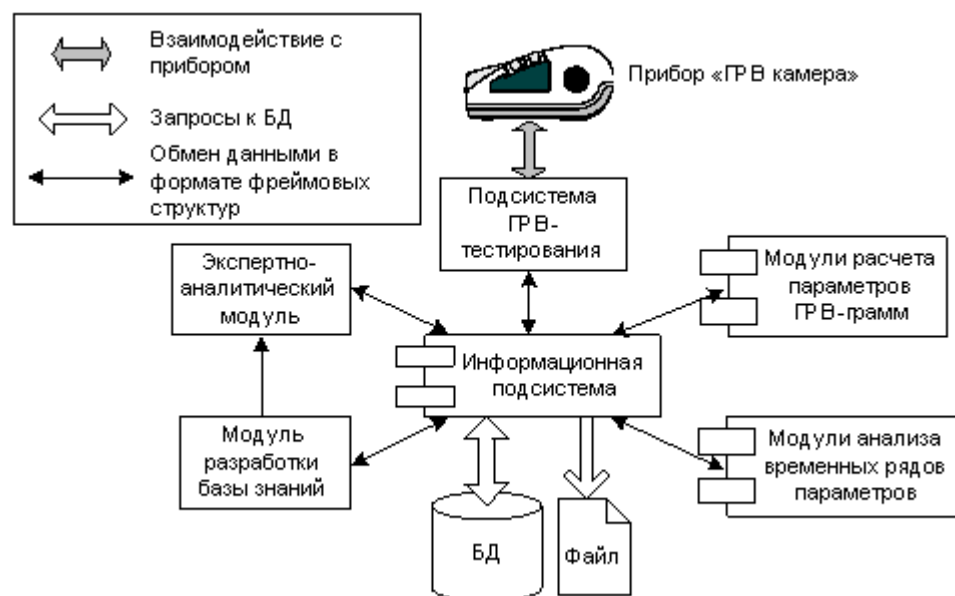


Рисунок 1

Д. И. МУРОМЦЕВ

*Санкт-Петербургский государственный университет информационных
технологий, механики и оптики*

ФОРМИРОВАНИЕ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ЗНАНИЙ НА ОСНОВЕ БАЗ ДАННЫХ ГАЗОРАЗРЯДНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

В статье рассмотрены вопросы автоматизированного формирования диагностических знаний по базе данных газоразрядных изображений. Предлагаемые пути решения данной задачи направлены на повышение эффективности и достоверности новых систем анализа характеристик исследуемых объектов методом ГРВ-биоэлектрографии для различных предметных областей.

Изображение свечения газового разряда (ГРВ-грамма) представляет собой сложное полутоновое изображение, при программной обработке и анализе которого возможно выявить ряд характеристик поверхности и внутренней структуры объекта, индуцирующего свечения – параметры ГРВ-грамм [1]. Данная задача характеризуется большим объемом обрабатываемых данных, а применение метода ГРВ в различных областях науки для исследования объектов самой разнообразной природы требует разработки методов и алгоритмов анализа ГРВ-грамм, учитывающих специфические особенности конкретной предметной области, что влечет за собой изменение последовательности шагов обработки и анализа изображений, входящих в систему обработки изображений ГРВ-грамм [2].

Исследование закономерностей и взаимосвязей между характером свечения и свойствами объекта во многом носит экспертный характер, в ходе которого исследователь формирует специфическую последовательность этапов обработки ГРВ-грамм и аналитические правила выработки заключения. Поэтому, чрезвычайно важным является вопрос унификации и стандартизации методики обработки экспериментального материала, а также реализация оболочки

экспертных систем в рамках автоматизированной системы анализа ГРВ-грамм. Кроме того, хранение и представление экспериментальных данных связано с проблемой отсутствия четкого набора и структуры параметров ГРВ-грамм. Так, например, с появлением нового параметра ГРВ-изображения его следует добавить к уже имеющимся в базе данных данным, то есть структура данных должна быть гибкой, расширяемой и открытой. Кроме того, существуют иерархические и семантические взаимосвязи между различными параметрами, и без отображения этих взаимосвязей в информационной модели автоматизированный анализ и выработка заключений практически невозможны.

Таким образом, в процессе анализа параметров ГРВ-грамм важнейшее место занимают вопросы представления данных и результатов анализа, а также методы автоматизированного формирования новых экспертных правил, ориентированных на интерпретацию ГРВ-параметров в контексте заданной предметной области. В данной статье предлагается методология решения этих задач, фрагменты которой реализованы в рамках технологии газоразрядной визуализации.

Наиболее распространенный в современной практике подход к разработке информационных систем основывается на реляционной модели данных [3]. Однако эта модель, основанная на таблицах с предопределенным количеством полей не обеспечивает достаточной гибкости, необходимой для задач анализа объектов методами динамической и статической ГРВ-биоэлектрографии, в связи с рядом ограничений на представление данных. В частности, речь идет о фиксированном формате всех полей, используемых для кодирования значений признаков, постоянстве признакового состава записей и фиксированном порядке следования признаков в записи. Преодоление этих ограничений возможно путем реорганизации хранимой базы данных. Указанные ограничения затрудняют, также, представление специфического вида данных продукционных знаний о предметной области.

Объектно-ориентированная модель данных позволяет создавать и сохранять любые типы данных, но в ней отсутствуют ряд фундаментальных возможностей баз данных, а именно: физическая независимость данных, поддержка представлений и логическая независимость данных, ориентированность на конкретное приложение системы. Основным аргументом против применения этой модели к упомянутым выше задачам служит типовая зависимость различных модулей системы – независимая разработка компонент системы становится практически невозможной, так как передача данных от одного модуля к другому подразумевает его «осведомленность» о структуре передаваемого объекта.

Исходя из анализа реляционной и объектной моделей данных, была предложена концепция информационной объектно-реляционной модели на основе теории фреймов Минского [4]. В основе модели лежит двухуровневое представление данных. На каждом уровне определяется простейшая грамматика описания данных и язык трансляции формата представления данных с одного уровня на другой.

Информационная модель низкого уровня M_p , предназначена для создания типизированного хранилища параметров ГРВ-грамм в виде реляционных таблиц, каждая из которых позволяет хранить данные определенного типа – числовых характеристик или строковых описаний признаков исследуемых объектов. Пример реализации подобной модели в виде схемы реляционной базы данных представлен на рис. 1.

Информационная модель высокого уровня M_ϕ обеспечивает представление данных в виде набора фреймовых структур, представляющих собой именованные записи признаков объектов, исследуемых методом ГРВ-биоэлектрографии. Иерархия фреймовых структур получает семантическую и функциональную нагрузку в рамках конкретного программного модуля, решающего задачи анализа или интерпретации данных. Каждый функциональный модуль системы может иметь свою ветвь в этой иерархии или обращаться к произвольному признаку, исходя из входящих в него правил и методов интерпретации ГРВ-параметров.

Модель вида M_ϕ обеспечивает возможность использования данных при решении задач описания признаков исследуемого объекта в структурах знаний (нижний уровень иерархии знаний включает наборы числовых характеристик ГРВ-грамм, а верхний – количественную оценку какого-либо аналитического параметра), экспертного анализа свойств объекта исследования или состояния испытуемого, принятия решения о достаточности и достоверности проведения тестирования.

Введенный уровень абстракции информационной модели позволяет представлять произвольные структуры данных и знаний. Подсистемы не обращаются к базе данных напрямую, а оперируют с сетью фреймов – объектов предметной области, при этом семантическая нагрузка каждого объекта осуществляется модулями системы самостоятельно. С точки зрения информационной подсистемы все фреймы трактуются единообразно, в соответствии с определяющей грамматикой.

Представление информации в виде сети фреймов позволяет группировать данные и знания в соответствии со спецификой предметной области, целей решаемых аналитических или диагностических задач. Но остается нерешенным вопрос собственно формирования интерпретирующих правил для ГРВ-параметров в контексте заданной предметной области. В настоящий момент в этом направлении разработаны подходы, позволяющие выявлять закономерности на базе статистических методов – сравнительный факторный, корреляционный и регрессионный анализ [5], а также методов многомерной кластеризации, деревьев решений и генетических алгоритмов [6].

Типовую последовательность операций при формировании знаний на основе параметров изображений ГРВ-грамм можно представить следующей схемой (рис. 2):

Этап обработки данных. Выполняется подбор оптимального уровня шума и геометрические параметры ГРВ-грамм (центр свечения внутренний контур) по принципу наибольшей информативности (принцип максимума энтропии), а также

на основе визуального анализа. Результатом этого этапа является множество управляющих параметров для алгоритмов расчета числовых характеристик ГРВ-грамм исследуемых объектов.

Этап предварительного анализа. На основании статистических критериев выявления различий, факторного, корреляционного и регрессионного анализа выявляются основные различия и зависимости данных, а также связь параметров ГРВ с верифицирующими данными, позволяющими оценить достоверность результатов анализа. В результате этого этапа формируются знания об элементарных зависимостях ГРВ-параметров и свойств исследуемых объектов. Эти знания могут быть положены в основу интерпретации данных, получаемых методом газоразрядной визуализации.

Этап формирования диагностических знаний. С помощью генетических алгоритмов и алгоритмов построения деревьев решений генерируются продукционные правила вида «Если *условие*, то *следствие*». Процесс генерации правил имеет итеративный характер и продолжается до достижения определенного уровня критерия адекватности. Окончательные правила могут служить знаниями для выполнения диагностики или классификации объектов на основании данных ГРВ-измерений.

Описанная в данной статье методика позволяет формировать знания в виде продукционных правил, позволяющие интерпретировать данные, полученные в ходе газоразрядных исследований. Данная методика автоматизирована и избавляет пользователя от выполнения многих рутинных шагов, что повышает качество результата и сокращает время работы. Фрагменты данной методики реализованы в комплексе программ «GDV Software». Замечательным свойством методики является то, что генерируемые правила можно использовать для наполнения базы знаний диагностической экспертной системы. Это, в свою очередь, позволяет говорить о возможности создания автоматической диагностической системы на базе метода ГРВ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Коротков К. Г.* Основы ГРВ биоэлектрографии, С-Пб.: Изд-во СПбГИТМО (ТУ), 2001. 356 с.
2. *Коротков К. Г., Крыжановский Э. В., Муромцев Д. И., Бабицкий М. А., Борисова М. Б.* Автоматизированная система измерения динамических характеристик параметров изображения газоразрядного свечения. “Информация. Управление. Системы”, N2, 2003. С. 73-79.
3. *Дейт К. Дж.* Введение в системы баз данных, седьмое изд., пер. с англ., М. Вильямс, 2001. 1071 с.
4. *Минский М.* Структура для представления знания. В сб. Психология машинного зрения. Под. Ред. П. Уинстона. М.: Мир, 1978. С. 249-338.
5. *Лебедев А. Н., Куприянов М. С., Недосекин Д. Д., Чернявский Е. А.* Вероятностные методы в инженерных задачах, Справочник, СПб.: Энергоатомиздат 2000, 331 с.
6. *Pieter Adriaans, Dolf Zantinge* Data Mining. Harlow, Addison-Wesley, 1996, 158 p.

Рекомендована кафедрой
проектирования компьютерных
систем

Поступила в редакцию

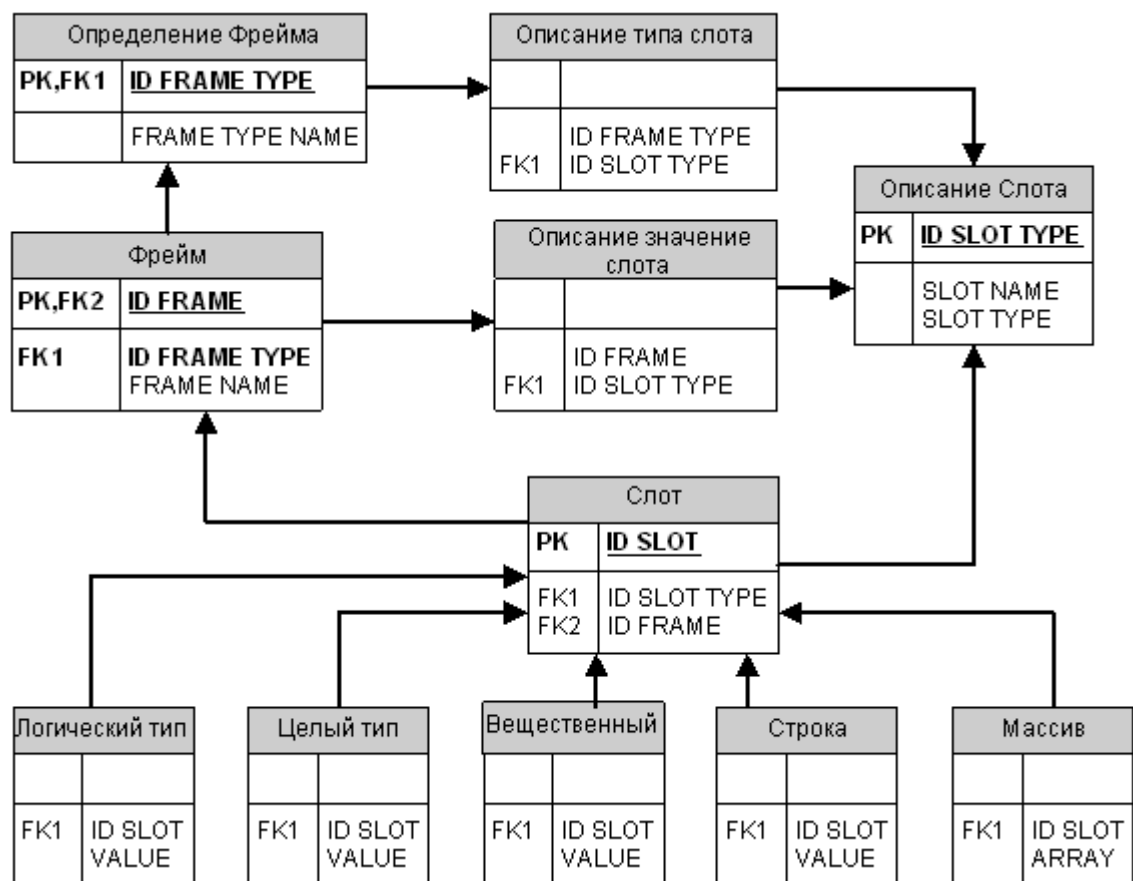


Рисунок 1

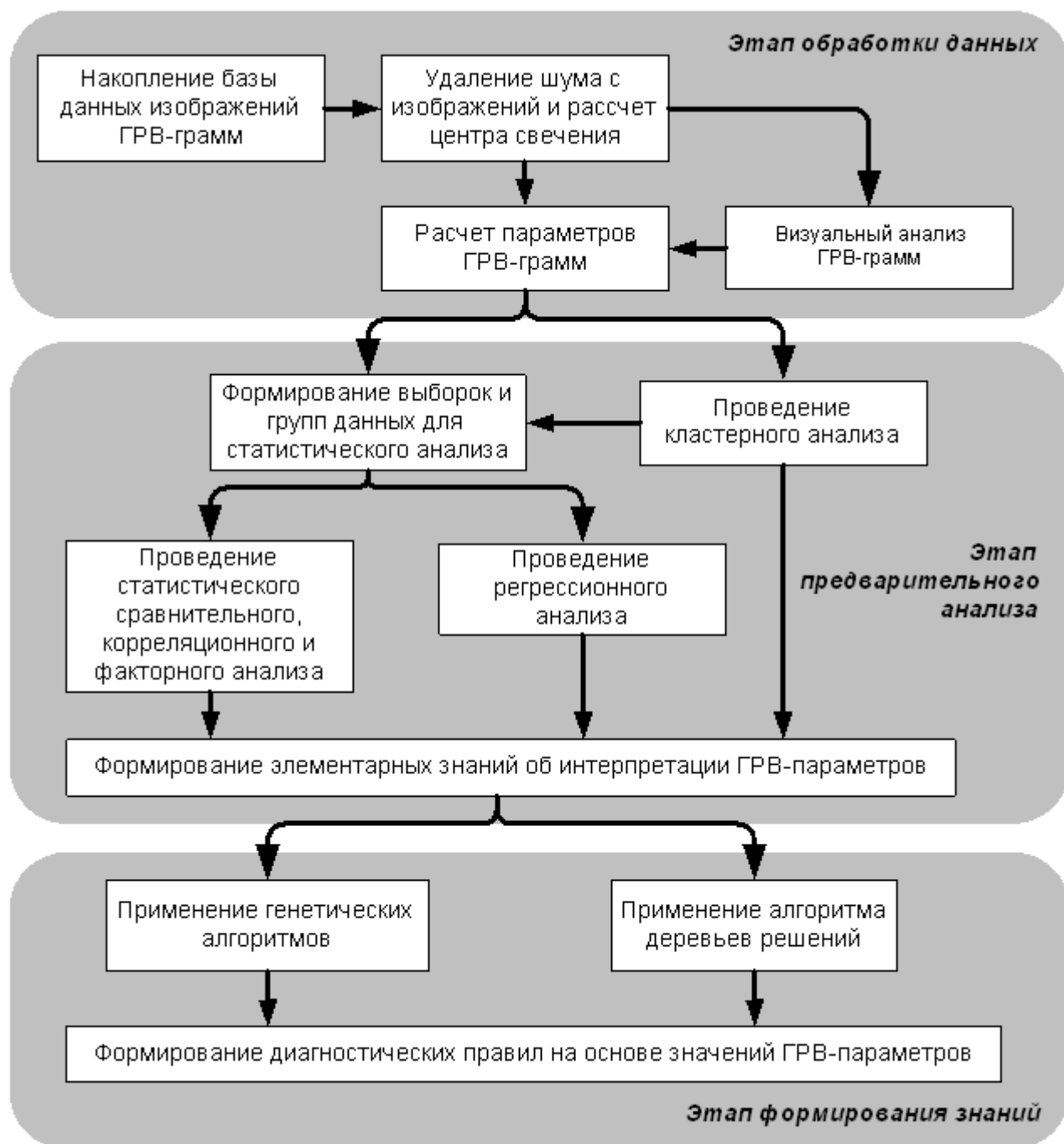


Рисунок 2

Д. А. НЕЧАЕВ, А. Ю. ГРИШЕНЦЕВ, Н. Ю. ИВАНОВА

*Санкт-Петербургский государственный университет информационных
технологий, механики и оптики*

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ПРИБОРА «ИПЧ» ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ЗНАЧЕНИЯХ ВЛАЖНОСТИ

В данной статье рассмотрен вопрос работы ГРВ-приборов при различных значениях влажности. Проведена серия экспериментов на основании результатов, которых сделаны некоторые рекомендации по условиям эксплуатации ГРВ-приборов.

Введение

В основе работы прибора «измеритель поверхностных частот» (ИПЧ) лежит измерение интегральной суммы электрического тока высокой частоты (0,94-22,4 МГц), проходящего через биологический объект.

Применение приборов ГРВ и ИПЧ требует для сопоставления и анализа результатов, полученных различными исследователями, стандартизации не только выходных данных, но и допустимых условий проведения эксперимента. Данная работа посвящена выявлению зависимости показаний ГРВ приборов от изменения влажности окружающего воздуха.

Известно, что зависимость напряжения пробоя ($U_{пр.}$) от влажности, выражается в уменьшении $U_{пр.}$ с ростом влажности, особенно при уровне влажности, когда образуется пленка на поверхности используемых диэлектриков. В соответствии с кривой Пашена зависимость $U_{пр.}$ от вариации атмосферного давления, при обычных условиях, пренебрежимо мала. Зависимость $U_{пр.}$ от температуры в диапазоне от 0°C до 40°C составляет не более 7% [1, 2].

Результаты эксперимента

Задачей исследования было выявление зависимости показаний прибора ГРВ ИПЧ от влажности.

В качестве объекта исследования использовался титановый цилиндр ($h=30\text{мм}$ $d=10\text{мм}$), не меняющий своих характеристик под влиянием внешней среды и газового разряда, исследуемого в ГРВ приборах. Это позволяло выявить зависимость параметров ГРВ прибора от влажности при стабильных параметрах исследуемого объекта.

Прибор ГРВ ИПЧ имел следующие параметры: длительность импульса 3мкс; частота следования импульсов 1кГц; длительность пакета импульсов 0,5с; скважность пакетов 5с. Температура $T=24\pm 2^\circ\text{C}$, давление атмосферное. Влажность изменялась в пределах 10-100%. Измерения влажности проводились гигрометром и электронным датчиком фирмы “RadioShack” (США).

Анализ выходного сигнала тока прибора проводился по 8 частотным диапазонам от 0,94 до 22,4 МГц путем использования 8 узкополосных фильтров.

Для экспериментов прибор был накрыт колпаком, под которым поднимали влажность путем испарения теплой воды.

На рис.1 приведен график зависимости тока от влажности, при усреднении по 40 измерениям.

На рис.2 приведены зависимости отношения стандартного отклонения (SD)

[3,4] от влажности воздуха рассчитанному по (1). $\delta = \frac{1}{\bar{i}} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (i_j - \bar{i})^2} * 100\%$

(1),

Где $\bar{i}$ -среднее значение тока в относительных единицах, i_j - значение тока на j-том импульсе в относительных единицах, n-число импульсов.

Измерения интегральной суммы среднего тока и его стандартного отклонения (SD) в режиме холостого хода (т.е. работы прибора без тест—объекта) показали, что наибольший уровень шума 196,18 и 54,53 (в относительных

единицах) наблюдается на первом, и втором каналах соответственно, результаты представлены в таблице 1. Поэтому эти каналы будут исключены из дальнейшего исследования.

На рис.3 приведены графики зависимости отношения среднего значения тока в канале к соответствующему значению тока шума в этом канале от влажности.

Наглядным является график зависимости суммы относительных значений токов по каналам от влажности (рис. 4). Ясно, что при сумме близкой к единице, токи на всех каналах принимают значения шума.

Приведем анализ работы прибора по каждому из частотных каналов, будем называть значение интегральной суммы токов, выдаваемую прибором в виде числа, сигналом; численные результаты анализа для удобства сведены в таблицу 2:

—1 канал (0,94—1,32 МГц) наибольшие амплитудные значения при самом высоком уровне шума, по сравнению с другими каналами, максимальное отношение сигнал/шум (СШ) 2,02 при 41%. При повышении влажности от 33 до 42—46% уровень сигнала не значительно нарастает, при 42—46% имеется максимум, далее резкий спад и уже при 62% остается только шум. Наибольшее SD при 45%.

—2 канал (1,38—1,9 МГц) при повышении влажности с 33 до 41—47% нарастание сигнала, при 45% достигается максимум отношение СШ=3.69, затем резкий спад и при 60% уровни сигнала и шума практически сравниваются. Наибольшее SD при 45%.

—3 канал (1,92—2,9 МГц) наблюдается наибольшее по отношению к другим каналам отношение СШ=7,17. При увеличении влажности от 33 до 38—41% нарастание сигнала, 35—42% максимум, далее резкий спад, при 62% значение СШ близко к 1. Наибольшее SD при 44%.

—4 канал (3,0—4,58 МГц) второе по величине значение $CШ=4,37$ среди всех каналов. При повышении влажности с 33 до 38—45% нарастание сигнала, при 38—48% достигается максимум, затем резкий спад и при 60% уровни сигнала и шума практически сравниваются. Наибольшее SD при 44%.

—5 канал (4,7—7,62 МГц) при повышении влажности с 33 до 41—47% нарастание сигнала, при 41—47% достигается максимум отношение $CШ=2,41$, затем резкий спад и при 60% уровни сигнала и шума практически сравниваются. Наибольшее SD при 44%.

—6 канал (6,9—9,94 МГц) при повышении влажности с 33 до 41—47% нарастание сигнала, при 41—47% достигается максимум отношение $CШ=2,02$, затем резкий спад и уже при 50% уровни сигнала и шума практически сравниваются. Наибольшее SD при 44%.

—7 канал (10,2—15,4 МГц) при повышении влажности с 33 до 43% нарастание сигнала, при 43% достигается максимум отношение $CШ=1,73$, затем резкий спад и уже при 50% уровни сигнала и шума практически сравниваются. Наибольшее SD при 44%.

—8 канал (15,6—22,4 МГц) при повышении влажности с 33 до 41—47% нарастание сигнала, при 41—47% достигается максимум отношение $CШ=1,64$, затем резкий спад и уже при 49% уровни сигнала и шума практически сравниваются. Наибольшее SD при 44%.

Заключение

Очевидно, что с нарастанием влажности до 38—47% значение сигналов по каналам нарастают и примерно при 42% имеют максимумы, далее при повышении влажности до 50—60% уровень сигнала понижается, сравниваясь с шумом. При влажности более 60% сигнал не отличим от шума по всем каналам. Можно отметить, что на третьем канале отношение сигнал/шум наибольшее среди всех

7,17 при влажности 41,5—48%, этот же канал имеет наибольшее значение стандартного отклонения выраженного в процентах (14%) при той же влажности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кородейников С. М. Диэлектрические материалы// <http://sermir.narod.ru/tryd/Posob/element.htm>, 2000.
2. Коротков К. Г. Основы ГРВ биоэлектрографии. СПб.: Изд-во СПбГИТМО(ТУ), 2001. 360 с.
3. Джонсон Н., Лион Ф. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке. М.: Изд-во «МИР», 1985.
4. Тейлор Дж. Введение в теорию ошибок. М.: Изд-во «МИР», 1985.

Рекомендована кафедрой
проектирования компьютерных
систем

Поступила в редакцию

Таблица 1 Режим холостого хода.

	Канал 1	Канал 2	Канал 3	Канал 4	Канал 5	Канал 6	Канал 7	Канал 8
Среднее значение тока шума	196,18	54,53	24,35	40,56	55,22	37,20	43,87	44,48
Стандартно е отклонение %	8,49	3,76	1,77	0,57	0,23	0,61	0,62	0,69

Таблица 2

КАНАЛ	Наибольшее значение СШ при влажности %		Влажность, % при наибольшем SD	Влажность, при которой значение СШ близко к 1
	СШ	Влажность %		
1	2,02	41	45	62

2	3,69	45	45	60
3	7,17	41,5 – 48	44	62
4	4,37	45	44	60
5	2,41	41 – 47	44	60
6	2,02	41 – 47	44	50
7	1,73	43	44	50
8	1,64	41 – 47	44	49

Зависимость значений тока от влажности.

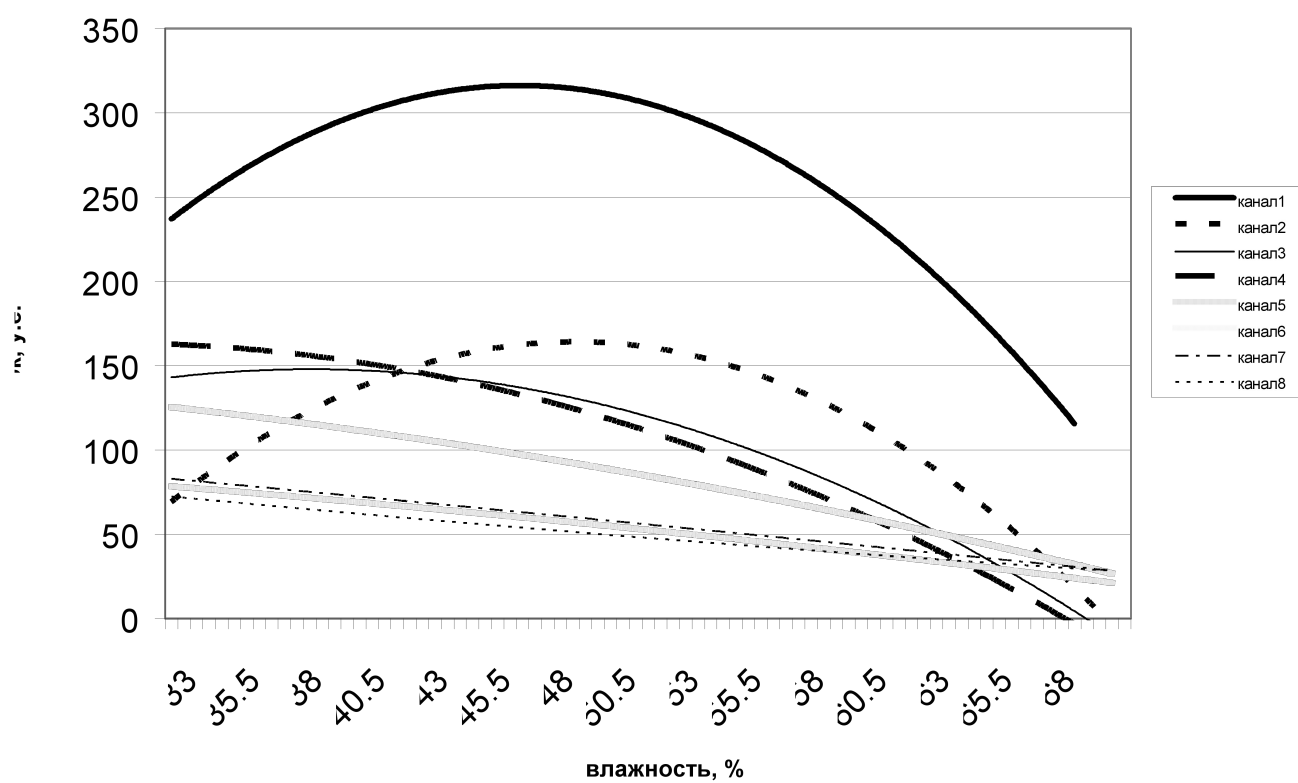


Рисунок 1.

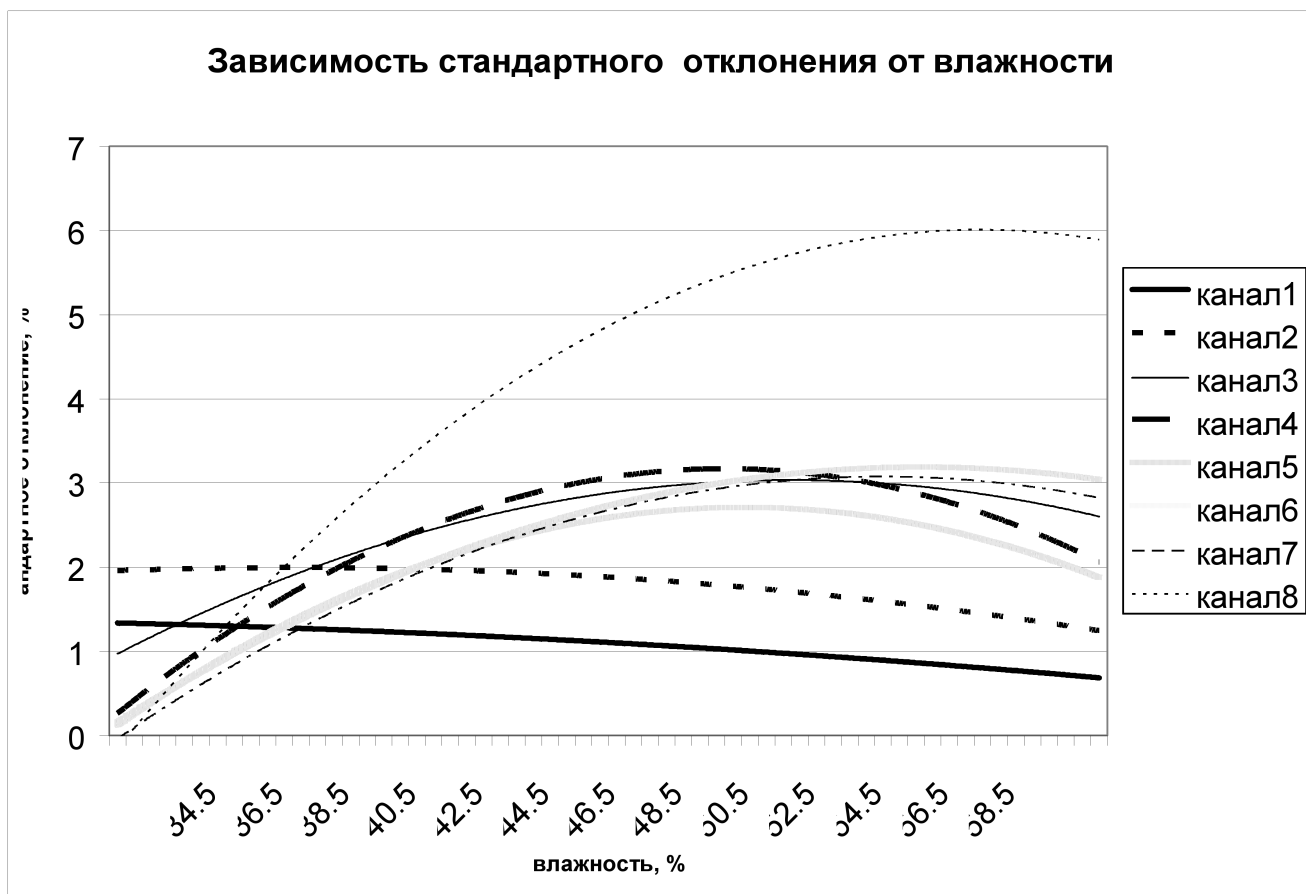


Рисунок 2

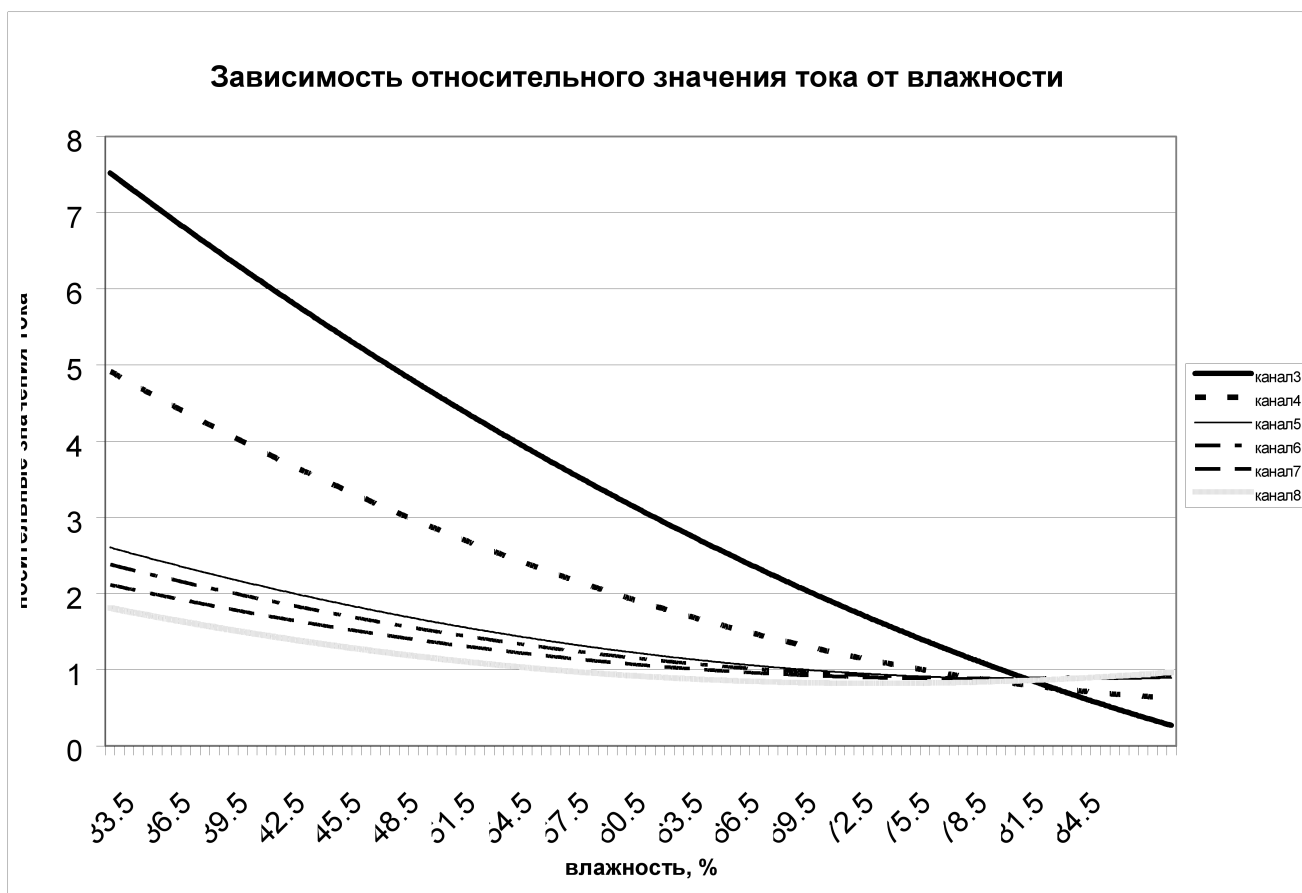


Рисунок 3.

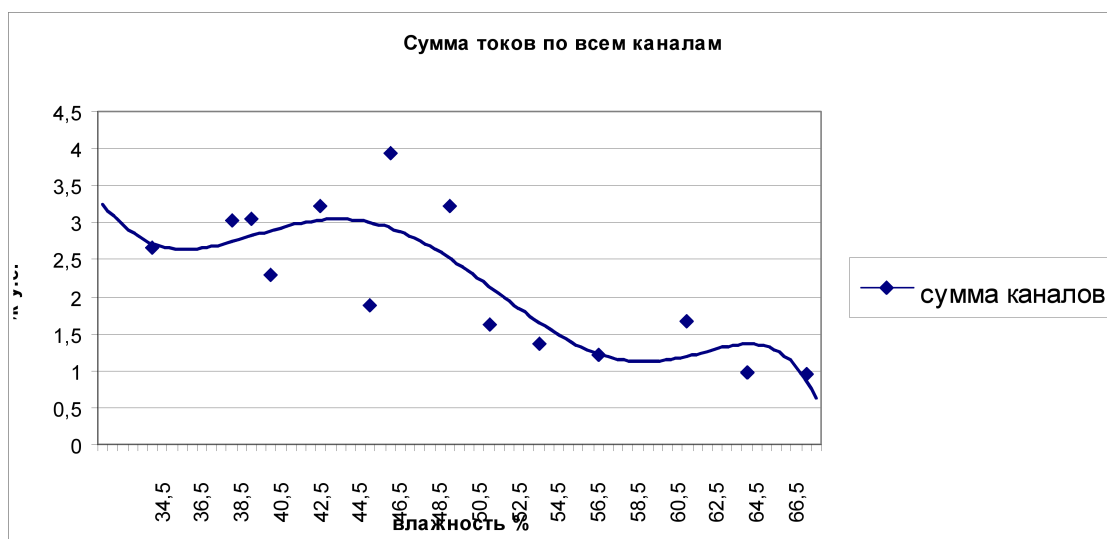
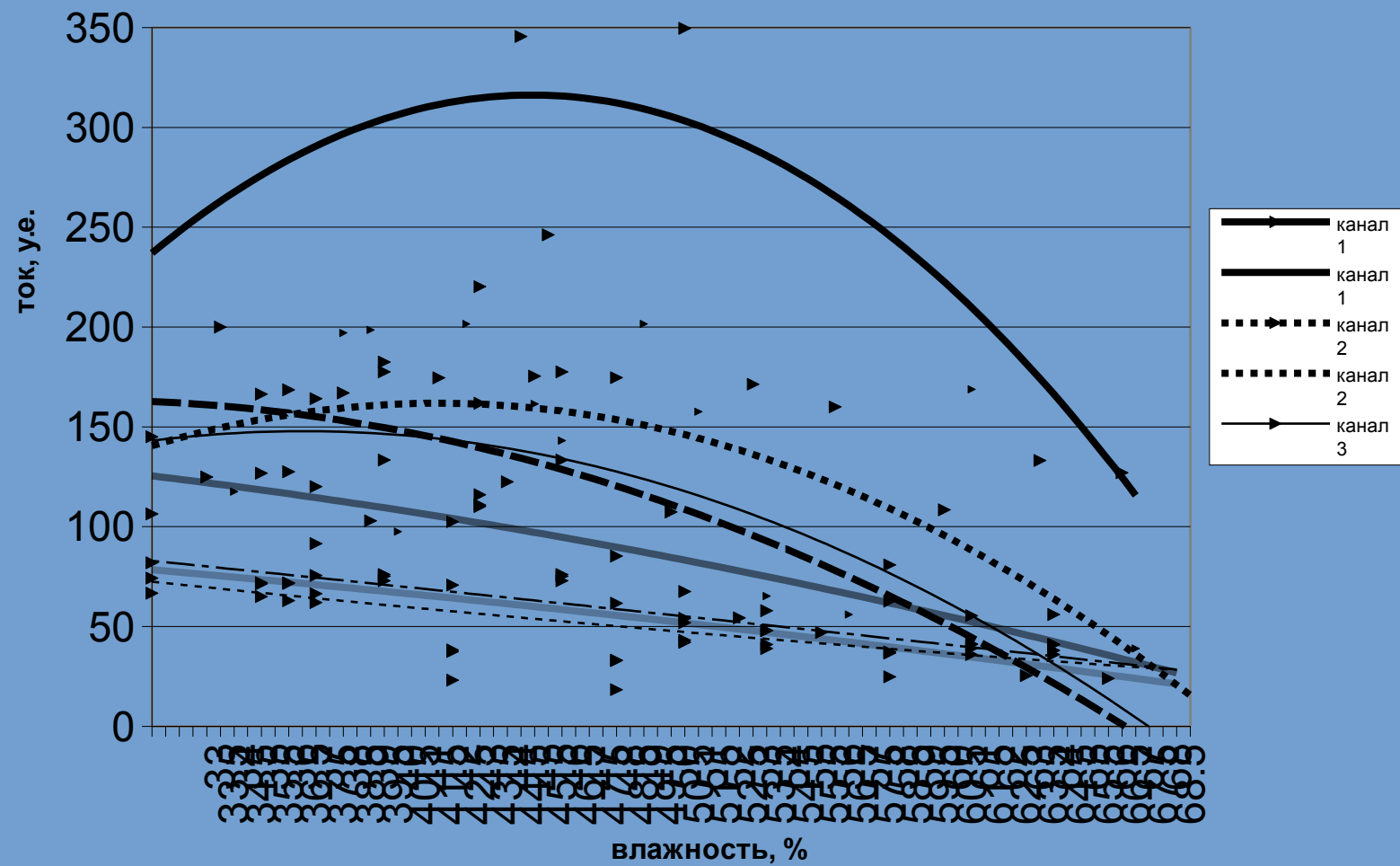


Рисунок 4.

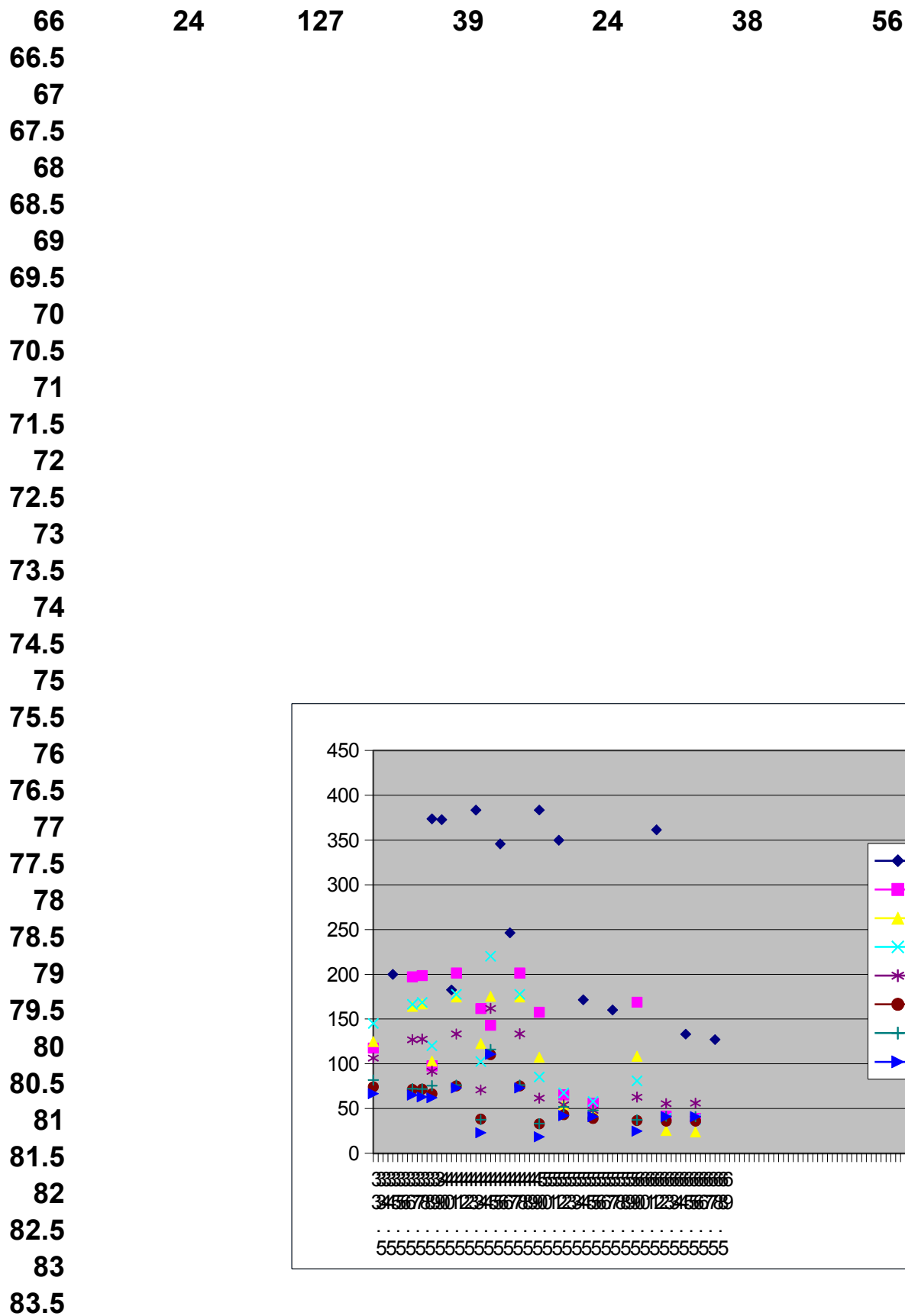
Зависимость значений тока от влажности.



влажн. comport канал1 канал2 канал3 канал4 канал5

33	23	200.0215	117.6022	124.9032	145.0323	106.4086
33.5						
34						
34.5						
35						
35.5						
36						
36.5						
37	15	373.5524	197.0769	164.0839	166.4196	126.8042
37.5						
38	14	372.7139	198.5694	166.9823	168.5592	127.521
38.5						
39		182.4889	97.48889	102.9778	120.0667	91.57778
39.5						
40						
40.5						
41						
41.5	13	383.3618	201.5556	174.5976	177.5732	133.3482
42						
42.5	26					
43						
43.5						
44	18	345.6117	161.512	122.5223	102.5017	70.79381
44.5						
45		246.25	143.1406	175.4219	220.25	161.8281
45.5						
46						
46.5						
47						
47.5						

48	16	383.4131	201.5428	174.643	177.611	133.3717
48.5						
49						
49.5						
50	17	349.6625	157.6	107.425	85.30625	61.6625
50.5						
51						
51.5						
52						
52.5	25	171.3673	65.26531	54.40816	67.55102	54.16327
53						
53.5						
54						
54.5						
55						
55.5	25	160	56	47	58	48
56						
56.5						
57						
57.5						
58						
58.5						
59						
59.5						
60	20	361.1703	168.8289	108.456	80.91929	62.74738
60.5						
61						
61.5						
62						
62.5						
63	24	133.1159	41.78261	25.43478	39.15942	55.49275
63.5						
64						
64.5						
65						
65.5						



84						
84.5						
85						
85.5						
86	21	220	65	13	0	18
86.5						
87						

канал6	канал7	канал8	откл1	откл2	откл3	откл4
--------	--------	--------	-------	-------	-------	-------

74.29032	81.98925	66.73118	1.188547	2.653349	2.33272	1.86335
----------	----------	----------	----------	----------	---------	---------

71.41259	72.05594	65.04196	1.352259	0.755887	0.565202	0.555217
----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

71.66636	71.90774	63.01305	1.445669	1.708012	1.909671	2.140307
----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

66.51111	75.6	62	1.065564	2.296214	1.620716	1.375844
----------	------	----	----------	----------	----------	----------

75.27913	76.09756	72.94173	1.090068	1.724137	2.247188	2.503957
----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

38.28866	37.4811	23.10309	0.569412	2.462333	7.279416	7.618929
----------	---------	----------	----------	----------	----------	----------

110.1719	116.0469	110.7969	2.140187	2.545094	2.062534	1.164426
----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

75.28476 76.10294 72.9639 1.094189 1.72456 2.247839 2.505716

33 33.13125 18.43125 0.444315 1.383952 1.923813 2.723094

43.14286 51.95918 42.10204

39 48 41

36.71025 37.27845 24.81195 0.783487 1.232435 2.803256 2.137563

36 41.30435 40.98551

0

0

0

откл5 откл6 откл7 откл8

1.357181 1.352523 1.284904 1.905823

0.427729 0.277564 0.249707 0.463533

1.79516 2.031629 1.8199 4.070842

1.214635 1.033225 0.949074 1.401979 798.7111

2.363628 2.702571 2.782785 5.570685

6.252334 5.847579 5.225973 7.111907

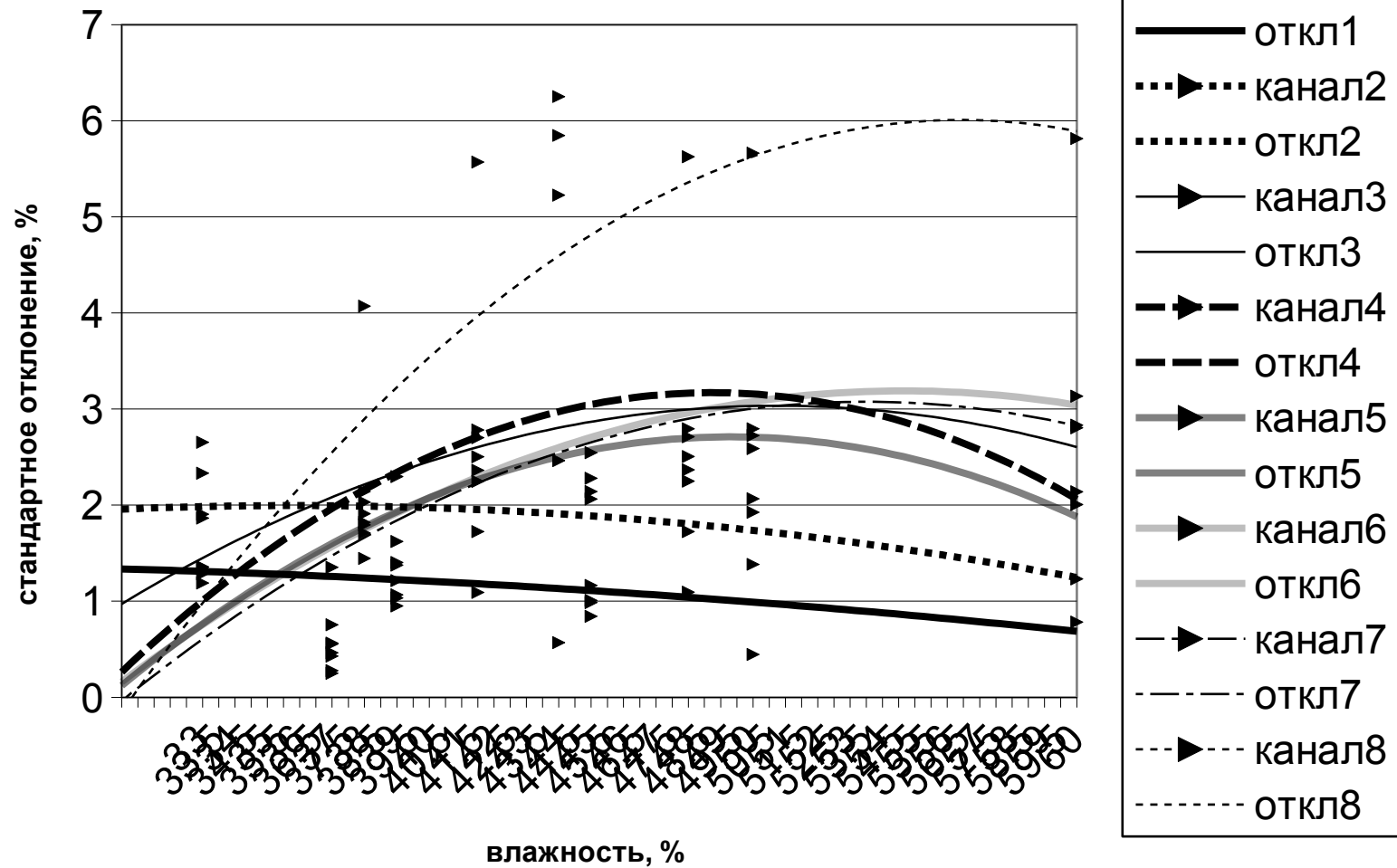
0.843149 0.984837 1.009123 2.27942 1283.906

2.366573 2.710506 2.793198 5.624592

2.064908 2.588311 2.793992 5.663377

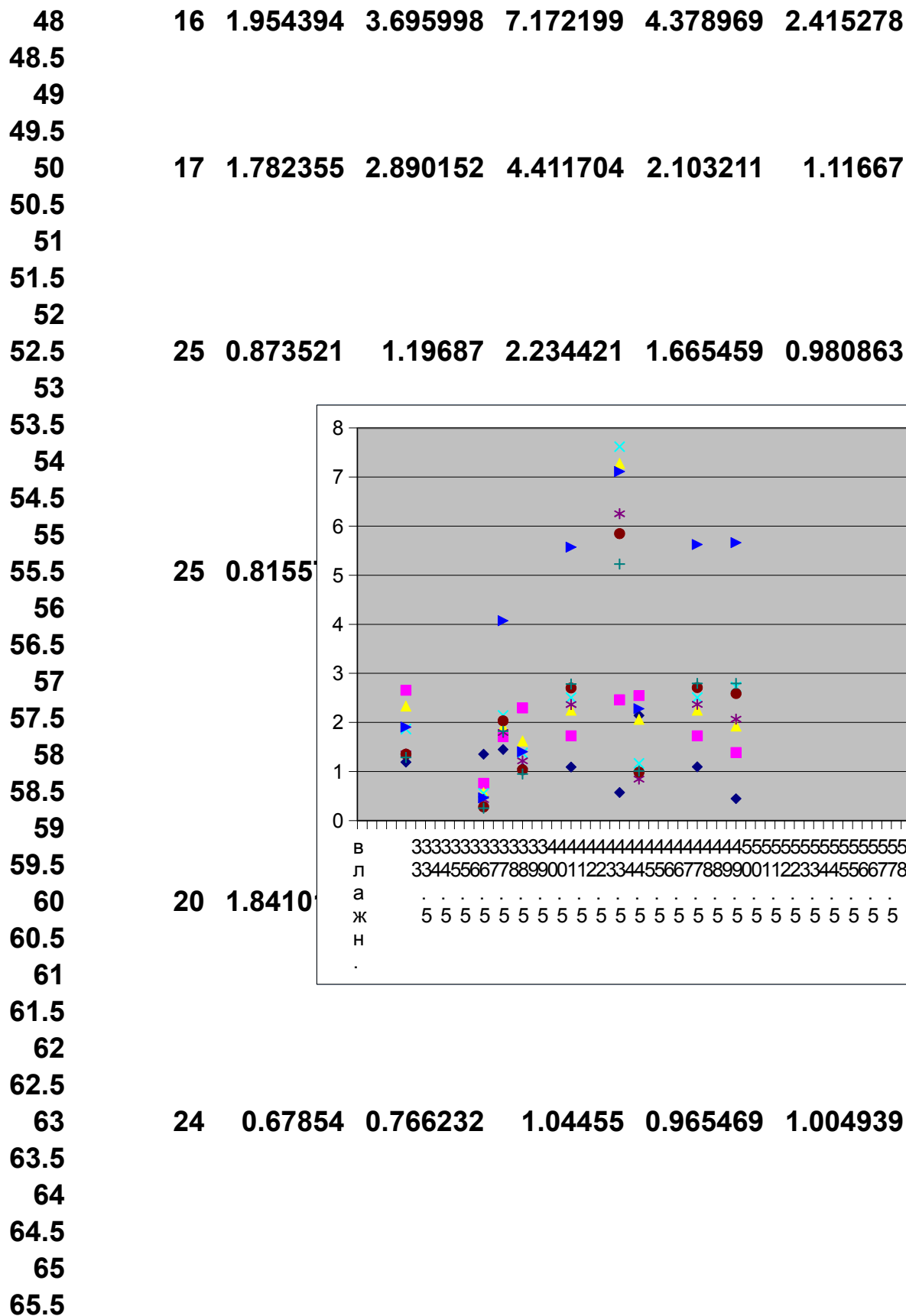
2.004207 3.132377 2.83109 5.815024

Зависимость стандартного отклонения от влажности



влажн. comport канал1 канал2 канал3 канал4 канал5

33	23	1.019582	2.15665	5.129496	3.575746	1.926994
33.5						
34						
34.5						
35						
35.5						
36						
36.5						
37	15	1.904131	3.614101	6.738559	4.103047	2.296345
37.5						
38	14	1.899857	3.641471	6.857589	4.155798	2.309326
38.5						
39		0.93	1.78	4.22	2.97	1.65
39.5						
40						
40.5						
41						
41.5	13	1.954133	3.696232	7.170331	4.378037	2.414854
42						
42.5	26					
43						
43.5						
44	18	1.761707	2.961893	5.031718	2.527163	1.282032
44.5						
45		1.25	2.6	7.2	5.4	2.93
45.5						
46						
46.5						
47						
47.5						



66	24	0.647365	0.715203	0.985626	0.936884	1.014125
66.5						
67						
67.5						
68						
68.5						
69						
69.5						
70						
70.5						
71						
71.5						
72						
72.5						
73						
73.5						
74						
74.5						
75						
75.5						
76						
76.5						
77						
77.5						
78						
78.5						
79						
79.5						
80						
80.5						
81						
81.5						
82						
82.5						
83						
83.5						

21 1.121419 1.192004 0.533881 0 0.325969



канал6	канал7	канал8	канал1	канал2	канал3	канал4
--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

1.997052	1.871901	1.500251	1.188547	2.653349	2.33272	1.86335
----------	----------	----------	----------	----------	---------	---------

1.919693	1.645113	1.462274	1.352259	0.755887	0.565202	0.555217
----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

1.926515	1.641729	1.41666	1.445669	1.708012	1.909671	2.140307
----------	----------	---------	----------	----------	----------	----------

1.76	1.73	1.38	1.065564	2.296214	1.620716	1.375844
------	------	------	----------	----------	----------	----------

2.023633	1.737387	1.639877	1.090068	1.724137	2.247188	2.503957
----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

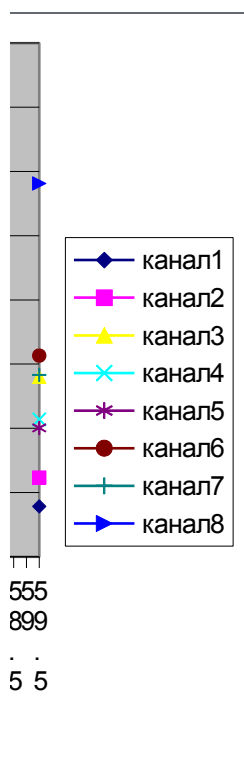
1.029265	0.855733	0.519404	0.569412	2.462333	7.279416	7.618929
----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

2.96	2.64	2.49	2.140187	2.545094	2.062534	1.164426
------	------	------	----------	----------	----------	----------

2.023784 1.73751 1.640376 1.094189 1.72456 2.247839 2.505716

0.887097 0.756421 0.414372 0.444315 1.383952 1.923813 2.723094

1.159754 1.186283 0.946539



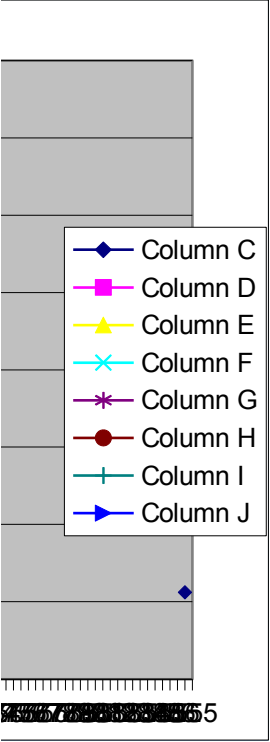
.09589 0.921763

851106 0.557823 0.783487 1.232435 2.803256 2.137563

0.967742 0.943022 0.921437

0.967742 0.936073 0.921763

0 0 0



канал5	канал6	канал7	канал8	суммакан
--------	--------	--------	--------	----------

1.357181	1.352523	1.284904	1.905823	19.17767
----------	----------	----------	----------	----------

0.427729	0.277564	0.249707	0.463533	23.68326
----------	----------	----------	----------	----------

1.79516	2.031629	1.8199	4.070842	23.84895
---------	----------	--------	----------	----------

1.214635	1.033225	0.949074	1.401979	16.42
----------	----------	----------	----------	-------

2.363628	2.702571	2.782785	5.570685	25.01448
----------	----------	----------	----------	----------

6.252334	5.847579	5.225973	7.111907	15.96891
----------	----------	----------	----------	----------

0.843149	0.984837	1.009123	2.27942	27.47
----------	----------	----------	---------	-------

2.366573 2.710506 2.793198 5.624592 25.01851

2.064908 2.588311 2.793992 5.663377 14.36198

10.24371

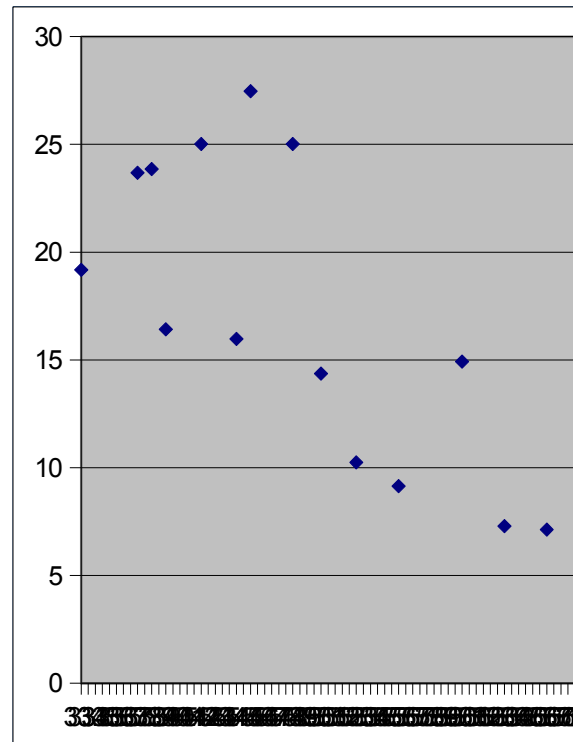
9.137991

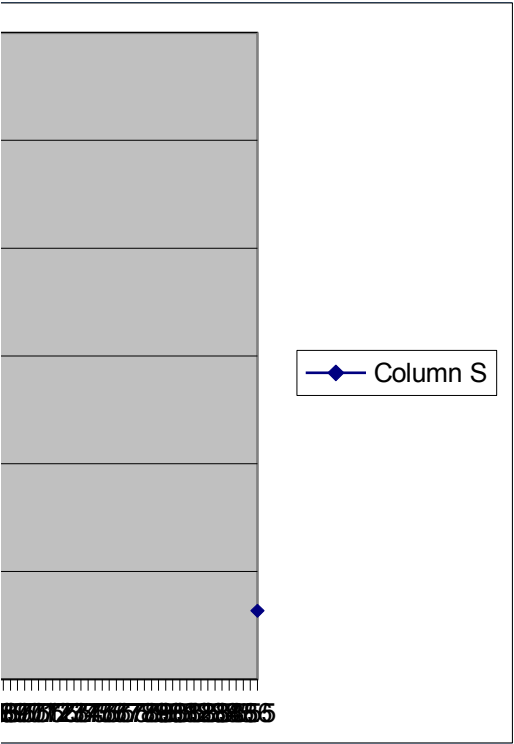
2.004207 3.132377 2.83109 5.815024 14.91827

7.29193

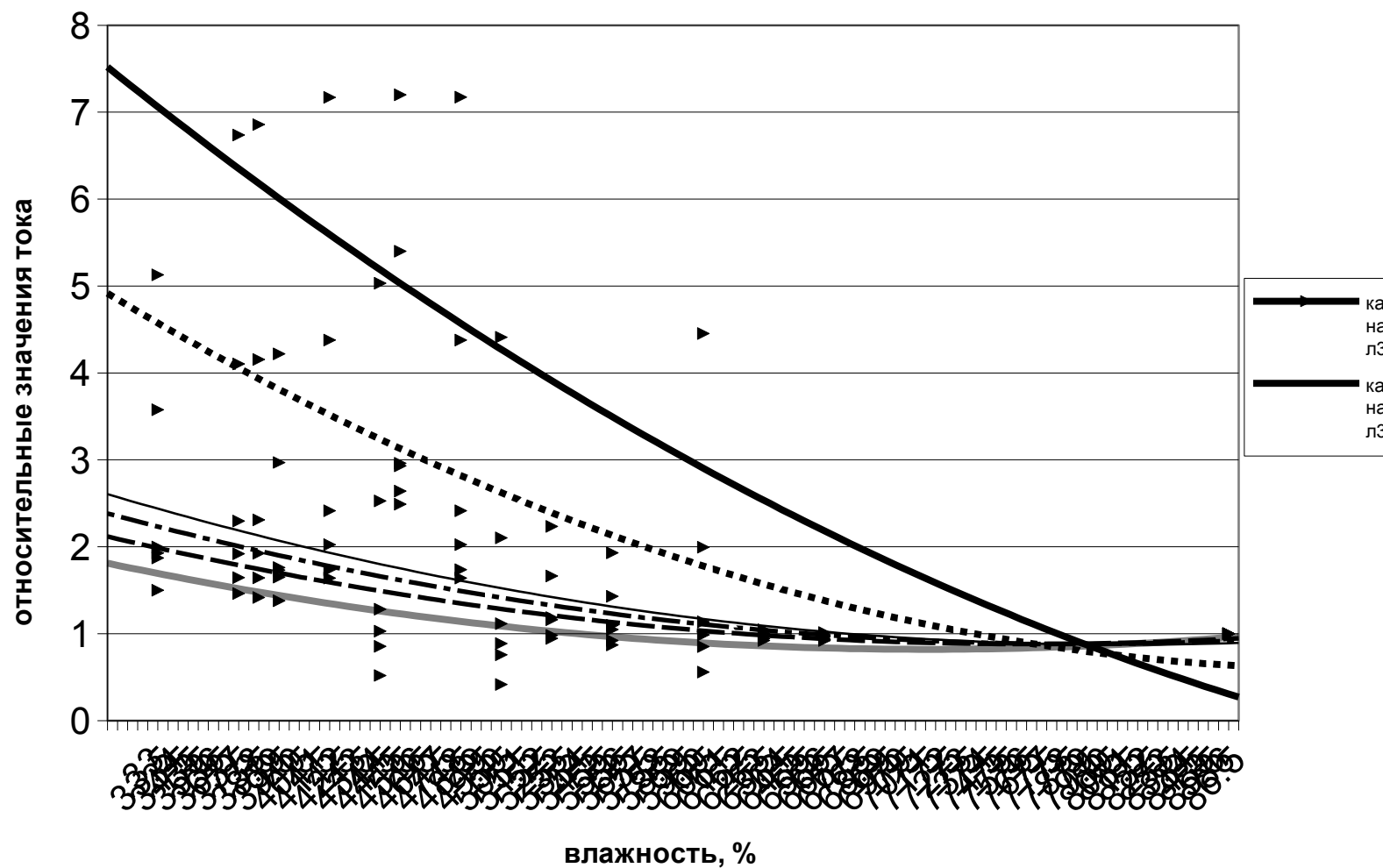
7.12478

3.173273





Зависимость относительного значения тока от влажности



влажн. comport канал1 канал2 канал3 канал4 канал5

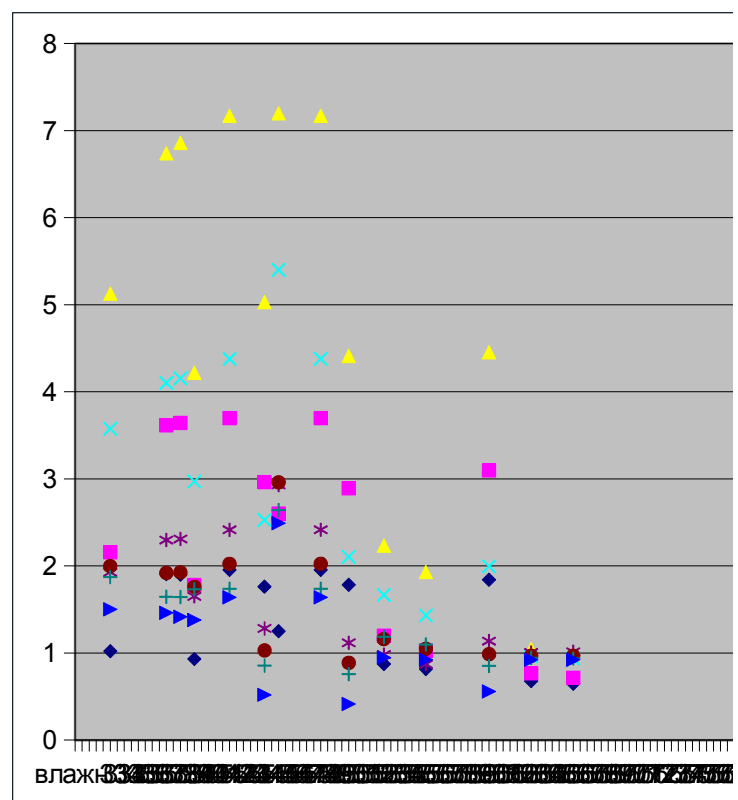
33	23	1.019582	2.15665	5.129496	3.575746	1.926994
33.5						
34						
34.5						
35						
35.5						
36						
36.5						
37	15	1.904131	3.614101	6.738559	4.103047	2.296345
37.5						
38	14	1.899857	3.641471	6.857589	4.155798	2.309326
38.5						
39		0.93	1.78	4.22	2.97	1.65
39.5						
40						
40.5						
41						
41.5	13	1.954133	3.696232	7.170331	4.378037	2.414854
42						
42.5	26					
43						
43.5						
44	18	1.761707	2.961893	5.031718	2.527163	1.282032
44.5						
45		1.25	2.6	7.2	5.4	2.93
45.5						
46						
46.5						
47						
47.5						

48	16	1.954394	3.695998	7.172199	4.378969	2.415278
48.5						
49						
49.5						
50	17	1.782355	2.890152	4.411704	2.103211	1.11667
50.5						
51						
51.5						
52						
52.5	25	0.873521	1.19687	2.234421	1.665459	0.980863
53						
53.5						
54						
54.5						
55						
55.5	25	0.815578	1.026958	1.930185	1.42998	0.86925
56						
56.5						
57						
57.5						
58						
58.5						
59						
59.5						
60	20	1.841015	3.096074	4.454046	1.995052	1.136316
60.5						
61						
61.5						
62						
62.5						
63	24	0.67854	0.766232	1.04455	0.965469	1.004939
63.5						
64						
64.5						
65						
65.5						

66	24	0.647365	0.715203	0.985626	0.936884	1.014125
66.5						
67						
67.5						
68						
68.5						
69						
69.5						
70						
70.5						
71						
71.5						
72						
72.5						
73						
73.5						
74						
74.5						
75						
75.5						
76						
76.5						
77						
77.5						
78						
78.5						
79						
79.5						
80						
80.5						
81						
81.5						
82						
82.5						
83						
83.5						

84
84.5
85
85.5
86
86.5
87

21 1.121419 1.192004 1 1 1



канал6	канал7	канал8	откл1	откл2	откл3	откл4
--------	--------	--------	-------	-------	-------	-------

1.997052	1.871901	1.500251	1.188547	2.653349	2.33272	1.86335
----------	----------	----------	----------	----------	---------	---------

1.919693	1.645113	1.462274	1.352259	0.755887	0.565202	0.555217
----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

1.926515	1.641729	1.41666	1.445669	1.708012	1.909671	2.140307
----------	----------	---------	----------	----------	----------	----------

1.76	1.73	1.38	1.065564	2.296214	1.620716	1.375844
------	------	------	----------	----------	----------	----------

2.023633	1.737387	1.639877	1.090068	1.724137	2.247188	2.503957
----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

1.029265	0.855733	0.519404	0.569412	2.462333	7.279416	7.618929
----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

2.96	2.64	2.49	2.140187	2.545094	2.062534	1.164426
------	------	------	----------	----------	----------	----------

2.023784 1.73751 1.640376 1.094189 1.72456 2.247839 2.505716

0.887097 0.756421 0.414372 0.444315 1.383952 1.923813 2.723094

1.159754 1.186283 0.946539

1.048387 1.09589 0.921763

0.986835 0.851106 0.557823 0.783487 1.232435 2.803256 2.137563

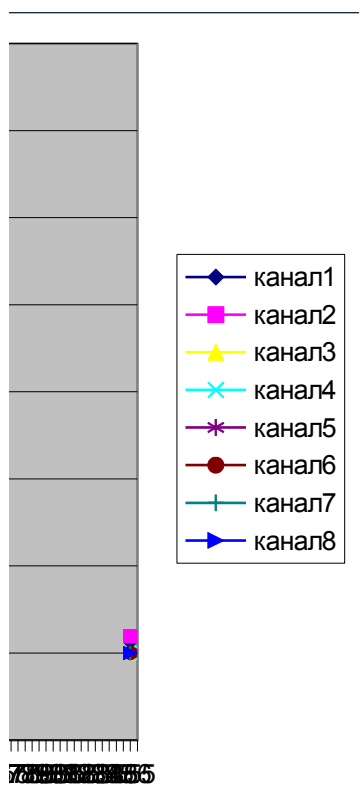
0.967742 0.943022 0.921437

0.967742 0.936073 0.921763

1

1

1



откл5	откл6	откл7	откл8	суммакан
-------	-------	-------	-------	----------

1.357181	1.352523	1.284904	1.905823	19.17767
----------	----------	----------	----------	----------

0.427729	0.277564	0.249707	0.463533	23.68326
----------	----------	----------	----------	----------

1.79516	2.031629	1.8199	4.070842	23.84895
---------	----------	--------	----------	----------

1.214635	1.033225	0.949074	1.401979	16.42
----------	----------	----------	----------	-------

2.363628	2.702571	2.782785	5.570685	25.01448
----------	----------	----------	----------	----------

6.252334	5.847579	5.225973	7.111907	15.96891
----------	----------	----------	----------	----------

0.843149	0.984837	1.009123	2.27942	27.47
----------	----------	----------	---------	-------

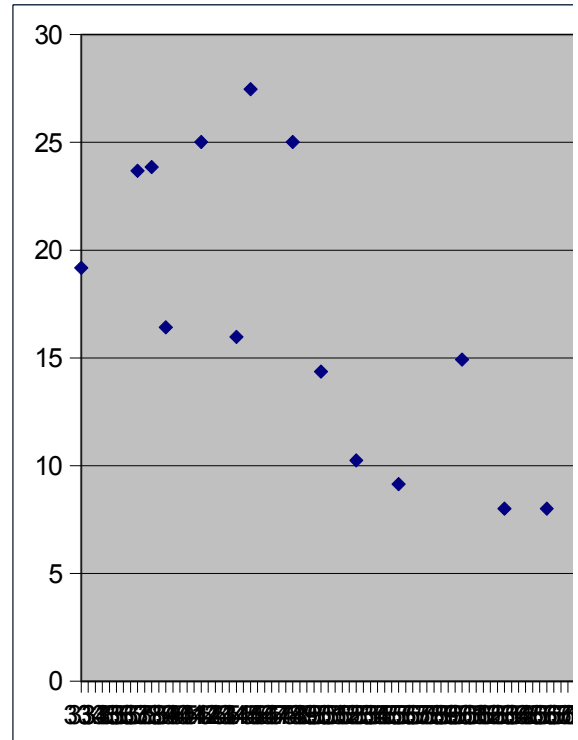
2.366573 2.710506 2.793198 5.624592 25.01851

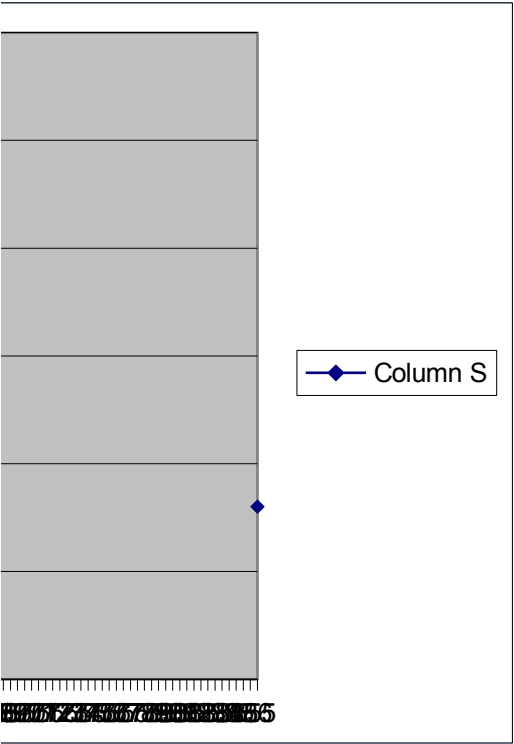
2.064908 2.588311 2.793992 5.663377 14.36198

10.24371

9.137991

2.004207 3.132377 2.83109 5.815024 14.91827





М.В. БОРИСОВА ¹, Э.В. КРЫЖАНОВСКИЙ ^{1,2}, В.Л. ТКАЛИЧ ³

¹ Некоммерческая организация «Ассоциация Кирионикс Технолоджис Интернейшнл», ² Научно-исследовательский институт физической культуры и спорта, Санкт-Петербург, Россия, ³ Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики

ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТЕЙ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ МЕТОДОМ ГРВ БИОЭЛЕКТРОГРАФИИ

В работе представлена методика, позволяющая добиваться максимальной воспроизводимости результатов при исследовании методом ГРВ биоэлектрографии. Приведены стандартные методы устранения указанных проблем, после чего, как показано в работе, погрешность воспроизведения не превышает 5%.

Введение

В работах исследованию методом ГРВ биоэлектрографии на современном этапе огромное значение имеет воспроизводимость результатов, как внутри серии исследований, так и при сравнении результатов различных исследователей.

В настоящей работе рассмотрены причины, приводящие к непостоянству значений и к ошибкам при измерениях основных параметров ГРВ изображений (ГРВ-грамм) с помощью ГРВ-камеры и пути их устранения.

Методы исследования

Как показано в [1], при развитии разряда исследуемый объект включается в цепь протекания электрического тока разряда. Измерение яркости свечения газового разряда, осуществляемое с помощью телевизионной видеокамеры, в которой используется матрица на приборах с зарядовой связью (ПЗС-матрица), представляет собой сложную двумерную фигуру, параметры которой несут информацию о характеристиках объекта. Для включения подобных данных в

структуру комплексного биофизического эксперимента необходима количественная обработка получаемых изображений.

Погрешности метода ГРВ биоэлектрографии можно условно разделить на системные и приборные.

Системные погрешности обусловлены следующими причинами:

1. Установка объекта:

а) Неплотная постановка объекта на поверхность электрода (вследствие чего образуется зазор между объектом и электродом) и непостоянство положения измеряемого объекта относительно электрода во время измерений.

б) Плохая центровка объекта относительно оптики фокуса видеокамеры.

2. Загрязнение поверхности электрода:

а) механическое загрязнение (необходима регулярная протирка спиртом)

б) ионизация поверхности плоского электрода после каждого разряда (протирка сухой замшей или хлопковой тканью).

3. Изменение температуры окружающего воздуха ниже 15°C и выше 30°C.

4. Паразитная засветка ПЗС-матрицы видеокамеры.

5. Изменение относительной влажности окружающего воздуха (при изменении влажности в пределах от 40% до 70% на каждые 10 % влажности площадь свечения изображения уменьшается на 8%).

6. Наличие экранирующих приборов рядом с ГРВ-камерой.

7. Наводки от электрических приборов. Плохое заземление прибора. Наводки через USB-порт (Universal Serial Bus – универсальную последовательную шину) в старых моделях (необходимо осуществлять автозапуск через выносной блок).

Приборные погрешности обусловлены особенностями используемых ПЗС матриц:

При прогревании прибора площадь свечения увеличивается до выхода на насыщение, что соответствует прогреву ПЗС матрицы видеокамеры, а затем стабилизируется: в течение 10-12 часов. Для ускорения стабилизации работы

прибор следует прогревать 15-20 минут при активированной программе GDV Capture.

Результаты экспериментов

Эксперименты по определению погрешности метода ГРВ-графии были проведены с калиброванным металлическим цилиндром из титана марки BT-1 стойкого к воздействию атмосферных условий (тест-объект). ГРВ-грамма этого объекта используется для метрологической поверки и калибровки прибора.

Были проведены серии экспериментов в различные дни при одинаковых внешних условиях ($T=22-24^{\circ}\text{C}$, относительная влажность 42-44%) по сто однократных измерений ГРВ-грамм тест-объекта в каждой выборке.

Результаты исследования тест-объекта показали, что выборка, полученная по параметру ГРВ-грамм «площадь свечения» в различные дни, извлечена из совокупности с нормальным (Гауссовым) распределением. Среднее значение почти совпадает с медианой, медиана лежит приблизительно посередине между 25 и 75 персентилем (значением показателя, отделяющим от выборке соответственно 25% и 75% наименьших значений). Кроме того, основные значения (от 95% до 99%) находятся в пределах двух стандартных отклонений от среднего, и от 64% до 72% значений – в пределах одного стандартного отклонения от среднего. Полученные в различные дни различия ГРВ-грамм оказались статистически не значимы ($p>0,05$ [Вероятность значимых различий более 5%]). Таким образом, в силу наличия нормального распределения во все дни измерений и отсутствия статистической значимости различий в полученных данных при исследовании металлического цилиндра, можно сделать вывод о хорошей воспроизводимости метода ГРВ-графии для тест-объекта.

Было также показано, что выборки параметров ГРВ-грамм дистиллированной воды, полученные в различные дни, не имеют статистически значимых различий [2]. Для 1N (1г-экв/л) раствора NaCl, погрешность в результатах эксперимента не превышает 10% [3-5].

Полученные результаты позволяют заключить, что при соблюдении условий проведения экспериментов метод ГРВ-графии обладает высокой воспроизводимостью

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Коротков К. Г.* Основы ГРВ Биоэлектрографии. Л.: Изд-во СПбГУИТМО, 2001. 361 с.
2. *Александрова Р.А., Федосеев Г.Б., Коротков К.Г., Филиппова Н.А., Крыжановский Э.В. и др.* Анализ систематических погрешностей и воспроизводимости данных в методе ГРВ // Материалы 4-ого междунар. Конгресса «Наука, Информация, Сознание». СПб., 2000. С. 1-4.
3. *Коротков К.Г., Крыжановский Э.В., Борисова М.В.* Методика исследования объектов методом динамической ГРВ-графии // Материалы 5-ого междунар. Конгресса «Наука, Информация, Сознание». СПб., 2001. С. 83-84.
4. *Крыжановский Э.В.* Исследование газоразрядной визуализации растворов электролитов при различных концентрациях и взаимодействии с электромагнитным полем / Современные технологии, Сб. трудов молодых ученых // СПб: СПбИТМО, 2001. С.15-26.
5. *Korotkov K., Krizhanovsky E., Borisova M., Korotkin D., Hayes M., Matravers P., Komoh K., Peterson P., Shiozaw K., Vainshelboim A.* Time dynamics of the gas discharge around drops of liquids // J. Appl. Phys. 2004, Vol.95, No 7. pp. 3334-3338.

Рекомендована кафедрой
проектирования компьютерных
систем

Поступила в редакцию

А.В. СТЕПАНОВ¹, Л.П. СВИРИДОВ¹, С.А. КОРОТКИНА², Э.В. КРИЖАНОВСКИЙ³,
Г.Г. АХМЕТЕЛИ²

¹НИИЦ (МБЗ) ГНИИИВМ МО РФ, ²Некоммерческая организация «Ассоциация Кирлионикс Технолоджис Интернейшнл», ³Научно-исследовательский институт физической культуры и спорта, Санкт-Петербург, Россия.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ГРВ БИОЭЛЕКТРОГРАФИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ РЕАКЦИИ АНТИГЕН-АНТИТЕЛО

Рассматривается возможность применения методики ГРВ для регистрации реакции взаимодействия антиген-антитело. Показано, что в результате взаимодействия антигена с антителом и образования иммунных комплексов происходит изменение физико-химических свойств исследованного материала и, следовательно, показателей ГРВ-изображений.

В настоящее время осуществляется широкий поиск сфер применения газоразрядной визуализации (ГРВ) в биологии и медицине. Исходя из известного факта о способности этого метода улавливать изменения физико-химических характеристик растворов неорганических веществ и биологических жидкостей, нами предпринята попытка изучить возможность применения газоразрядного свечения для регистрации специфического взаимодействия антигена с комплементарным антителом – так называемой реакции агглютинации. Это и определило цель настоящего исследования.

Для реализации поставленной цели использована технология оценки характеристик газового разряда вокруг капли [1], находящейся на окончании капилляра одноразового инсулинового шприца и получаемой путем выдавливания из него исследуемого материала. Из каждой пробы записывали ГРВ-граммы для 10 капель с частотой 30 кадров в секунду и продолжительностью воздействия электромагнитного поля 10 сек. Итоговые данные ГРВ сравнивали с результатами, полученными общепринятым методом – визуальным.

Специфические антитела получали путем иммунизации кроликов яичным альбумином или туляремийной вакциной и белых мышей специфической вакциной. Кроме этого, использовали сыворотку крови человека, переболевшего инфекцией, вызванной условно-патогенным бактероидом *Bacteroides fragilis* (анаэроб, колонизирующий толстый кишечник и являющийся одной из причин развития абдоминальных инфекций).

Для постановки основных опытов первоначально оптимизирована схема проведения анализа с помощью ГРВ. В частности, решался вопрос, касающийся необходимости размешивания осевшего на дно пробирки комплекса антиген-антитело. Эта часть работы была выполнена при использовании следующих комплементарных пар реагентов:

яичный альбумин + антитела к нему (сыворотка крови иммунизированных альбумином кроликов);

вакцинный штамм специфического вируса + антитела к нему (иммуноглобулин против вируса, полученный из асцитической жидкости белых мышей, привитых соответствующей вакциной);

туляремийный антиген + антитела к нему (сыворотка крови кроликов, привитых туляремийной вакциной).

При использовании указанных систем были получены однотипные данные. Оказалось, что даже при осторожном размешивании осадка (агглютината) результаты ГРВ-анализа не только не совпадали с таковыми при визуальном учете реакции, но нередко имели противоречивый характер.

В случае исследования с помощью метода ГРВ надосадочной жидкости (жидкости, образующейся в насыщенных растворах над осадком при отсутствии интенсивного перемешивания) без предварительного перемешивания в ней осадка результаты совпадали с данными визуального учета реакции агглютинации. Как нам представляется, при положительной реакции комплекс антиген-антитело оседает и надосадочная жидкость «очищается» от компонентов реакции. При отсутствии агглютинации компоненты реакции находятся во взвешенном состоянии, то есть очищения (просветления) надосадочной жидкости не происходит. Возникающие при этом видимые (просветление надосадочной жидкости) и невидимые (изменение физико-химических свойств) различия в опытных и контрольных (заведомо отрицательных) пробах фиксирует метод ГРВ, указывая тем самым на положительную реакцию агглютинации. С учетом этих данных в последующем были выполнены развернутые эксперименты, подтверждающие это в общем виде сформулированное положение.

Схема опытов представлена в таблице 1.

В таблице №1 представлены девять проб с различными реагирующими компонентами. Каждая проба исследовалась, как при помощи визуального учета реакции агглютинации, так и методом ГРВ с последующим сравнением проб друг с другом.

Исследование проб 1, 2 и 3 (соответственно физиологический раствор NaCl, тот же раствор с добавлением или *V.fragilis*, или сыворотки крови №1)

предусматривало выяснить, может ли метод ГРВ выявить в растворе такие микроскопические объекты, каковыми являются антитела и микроорганизмы.

При сравнительной оценке ГРВ-грамм этих трех объектов было установлено, что проба 1 достоверно отличалась от пробы 2 по интенсивности свечения и по площади засветки [2] (рис.1), а от пробы 3 – не только по этим критериям, но и по коэффициенту формы и длине изолинии [2]. Все это, как нам представляется, свидетельствует о том, что использованный метод позволяет улавливать присутствие в физиологическом растворе таких биологических объектов, как микроорганизмы, являющиеся в данном случае моделью антигена, и иммунная сыворотка, содержащая специфические антитела к этим микроорганизмам. Кроме того, выявляются различия между сывороткой крови и взвесью микроорганизмов.

Результаты оценки проб 4-9 должны были ответить на главный вопрос: можно ли с помощью ГРВ-метода установить не только наличие в физиологическом растворе антигена или антител к нему, но и специфическую реакцию между ними – реакцию агглютинации. Теоретически это представляется возможным, поскольку при таком взаимодействии образуются новые биологические структуры (иммунные комплексы), обладающие сами по себе другими физико-химическими свойствами, чем исходные реагенты (антигены и антитела), и, по всей вероятности, изменяющие эти же характеристики раствора, в котором они находятся.

Главной (опытной) из всех проб является проба 4, которая состоит из сыворотки крови человека с антителами к *B.fragilis*, разведенная физиологическим раствором до титра 1:10, и взвеси *B.fragilis*. Реакция агглютинации в такой системе неизбежна в силу комплементарности

(специфичности) взятых биологических реагентов, что подтверждалось визуально через 24 ч (на момент снятия ГРВ-грамм).

Контрольная проба 5 отличалась от пробы 4 лишь тем, что в ней сыворотка крови была в разведении 1:1000. В данном случае реакция агглютинации не происходила, так как разведение сыворотки (1:1000) превышало ее максимальный титр (1:640).

При сравнении ГРВ-грамм проб 4 и 5 было установлено (рис.2), что они существенно различаются по интенсивности свечения. Поскольку их отличие лишь в том, что в одной из них была реакция агглютинации (проба 4), а в другой (проба 5) – она отсутствовала, то это может служить доказательством способности метода фиксировать новое физико-химическое состояние пробы 4, возникшее в результате специфического взаимодействия содержащихся в ней антигена и антител. Иными словами – метод визуализирует реакцию агглютинации.

Другим доказательством правомочности такого вывода являются:

достоверные различия по интенсивности свечения между пробами 4 и 6 (агглютинация в пробе 6 отсутствовала в связи с недостаточной экспозицией смеси компонентов: смешивание проводили непосредственно перед снятием ГРВ-граммы, то есть реакция агглютинации еще не успела произойти);

достоверные различия по площади засветки, интенсивности свечения и длине изолиний между пробами 4 и 8 (агглютинация в пробе 8 не произошла в связи с отсутствием в сыворотке крови № 2 специфических антител к *B.fragilis*);

отсутствие различий между пробами 6 и 7 (в обеих пробах агглютинация отсутствует в связи с недостаточной экспозицией антигена с антителами);

отсутствие различий между пробами 8 и 9 (в обеих пробах агглютинация не произошла в связи с гетерологичностью антигена и антител). Таким образом, как

следует из представленных данных, сравнительный анализ ГРВ-грамм опытной и контрольной проб позволяет выявлять антитела в исследуемом материале.

Важным представлялось изучить также информативность ГРВ как метода титрования иммунных сывороток. Для этого был спланирован специальный опыт по определению титра антител в сыворотке крови кроликов, привитых яичным альбумином. Схема опыта представлена в табл. 2.

Сравнительный анализ показал, что ГРВ-граммы проб 1 и 2, близких по выраженности визуально регистрируемой агглютинации в них (4+ и 3+ соответственно), достоверно не отличались. Вместе с тем, проба 1 достоверно отличалась от пробы 3 (агглютинация +) по площади и интенсивности свечения, а от пробы 4, в которой агглютинация отсутствовала вовсе, - по площади, интенсивности свечения, а также и по количеству фрагментов. Аналогичные отличия наблюдались и при сравнении ГРВ-грамм пробы 2 с характеристиками пробы 3 и 4. В то же время, компьютерный анализ проб 3 и 4, в которых агглютинация или выражена слабо (проба 3), или отсутствует вовсе (проба 4), не выявил их отличий.

Таким образом, титр антител, определяемый визуальным и ГРВ методами, был одинаков – 1:20. Это дает основание считать, что ГРВ позволяет не только регистрировать наличие антител в жидкостях, но и определять их титр.

Заключение

Представленные материалы позволяют заключить, что метод ГРВ позволяет выявлять специфическую реакцию антител с комплементарным к ним антигеном, именуемой реакцией агглютинации. В основе метода лежит регистрация динамики показателей газоразрядного свечения во времени – от момента соединения (смешивания) специфических компонентов, каковыми являются

антиген и антитела к нему, к моменту завершения их взаимодействия и образования так называемых иммунных комплексов. В результате такого взаимодействия происходит изменение физико-химических характеристик исследованного материала и, как следствие, показателей ГРВ-грамм.

Полученные результаты, безусловно, имеют предварительный характер и нуждаются в дальнейшем уточнении. Но уже сейчас важность этого направления научного поиска нам представляется очевидной.

Метод может найти применение для исследования непрозрачных биологических жидкостей, когда постановка реакции агглютинации в классическом исполнении (с визуальным учетом результатов) не только затруднена, но и невозможна – например, исследование крови с целью выявления этиологии аллергий у человека.

Список литературы

1. *Коротков К. Г.* Основы ГРВ Биоэлектрографии. Л.: Изд-во СПбГУИТМО, 2001. 261с.
2. *Коротков К.Г.* Физические механизмы и принципы построения систем ГРВ Биоэлектрографии. // Изв. вузов. Приборостроение. 2006. Т. 49, №2 в печати.

Рекомендована кафедрой
проектирования компьютерных
систем

Поступила в редакцию

--

Проба №1 0,85 % NaCl*		
Проба №2 0,85 % NaCl + B.fragilis		
Проба №3 0,85 % NaCl + антитела к B.fragilis		
Взаимоспецифические (комплементарные) компоненты реакции.		Взаимонеспецифические (некомплементарные) компоненты реакции
Соединение компонентов за 24ч	Соединение компонентов	Соединение компонентов за 24 ч до исследования.

до исследования.	непосредственно перед исследованием.	
Проба №4 0,85% NaCl* +B.fragilis+сыворо тка крови №1**	Проба №6 тоже, что и Проба №4	Проба №8 0,85 % NaCl*+B.fragilis+ сыворотка крови №2*** в разведении 1:10
Проба №5 0,85%NaCl*+ B.fragilis+сыворот ка крови №1** в разведении 1:1000	Проба №7 тоже, что и Проба №5	Проба №9 0,85 % NaCl*+B.fragilis+ сыворотка крови №2*** в разведении 1:1000

Таблица 1. Схема опытов

Реагирующие в опытах компоненты:

*Раствор 0,85 % NaCl, или физиологический (тестовый) раствор.

**Сыворотка крови человека, в которой антитела к B.fragilis в титре 1:640
(сыворотка №1)

***Сыворотка крови человека, в которой антитела к B.fragilis отсутствовали
(сыворотка №2)

Взвесь B.fragilis (антиген)

Таблица 2. Результаты титрования сыворотки крови кроликов, привитых
яичным альбумином.

Номер пробы	1	2	3	4
Разведение сыворотки	1:10	1:20	1:40	1:4000
Титр антител по данным визуальной оценки	+++++	+++	+	-

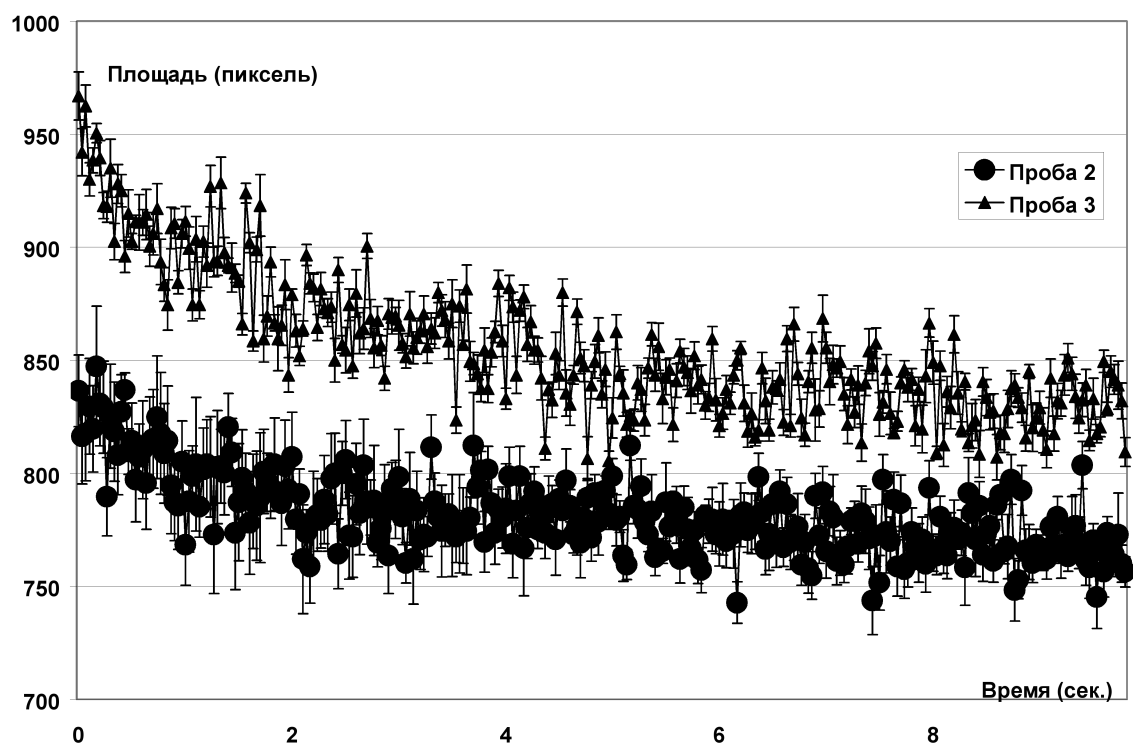


Рис.1. Изменение параметра площадь засветки во времени для Проб 2 и 3.

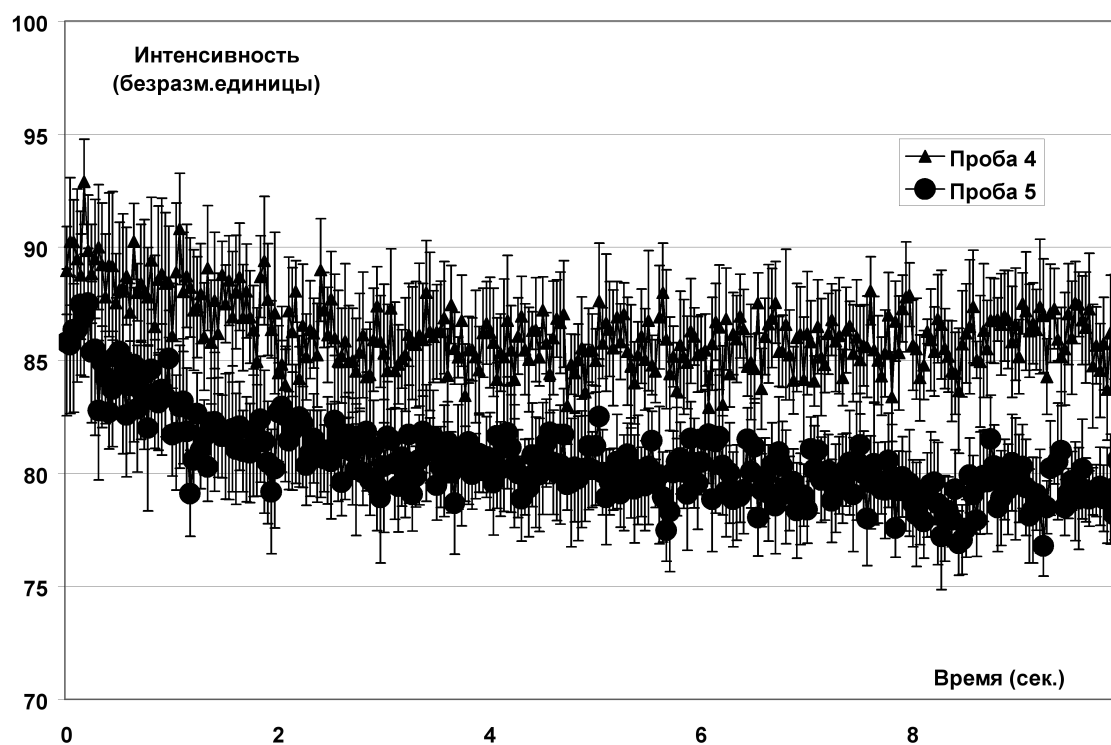
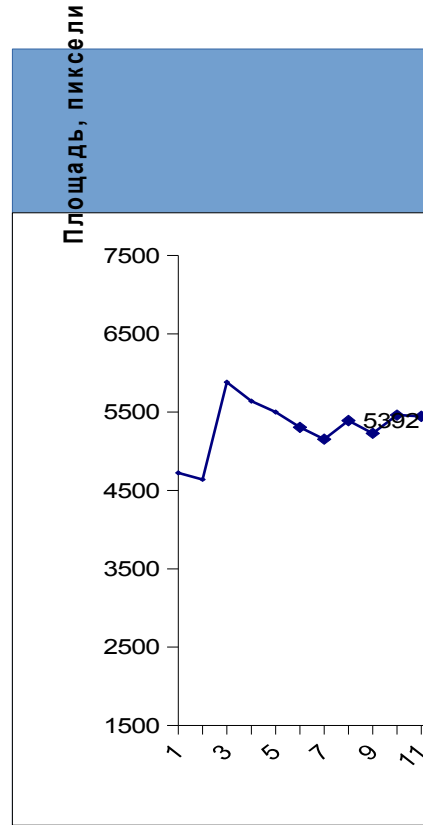
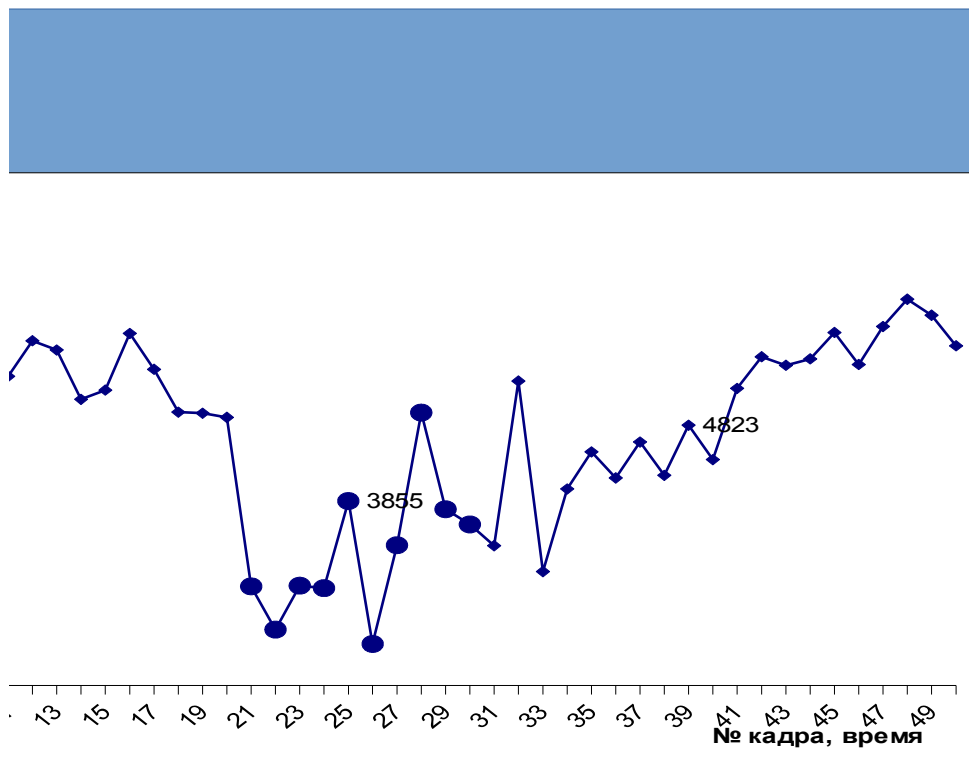


Рис.2. Изменение интенсивность засветки во времени для Проб 4 и 5.

Римская ромашка

фаза 1 - фона	5306
фаза 1 - фона	5155
фаза 1 - фона	5392
фаза 1 - фона	5231
фаза 1 - фона	5463
фаза 1 - фона	5446
фаза 1 - фона	5901
фаза 1 - фона	5784
фаза 1 - фона	5153
фаза 1 - фона	5271
фаза 1 - фона	5994
фаза 1 - фона	5537
фаза 1 - фона	4989
фаза 1 - фона	4976
фаза 1 - фона	4923
фаза 2 реакции	2765
фаза 2 реакции	2213
фаза 2 реакции	2774
фаза 2 реакции	2743
фаза 2 реакции	3855
фаза 2 реакции	2030
фаза 2 реакции	3291
фаза 2 реакции	4984
фаза 2 реакции	3750
фаза 2 реакции	3556
фаза 3 последействия	3285
фаза 3 последействия	5387
фаза 3 последействия	2954
фаза 3 последействия	4009
фаза 3 последействия	4482
фаза 3 последействия	4149
фаза 3 последействия	4608
фаза 3 последействия	4182
фаза 3 последействия	4823
фаза 3 последействия	4383
фаза 3 последействия	5293
фаза 3 последействия	5696
фаза 3 последействия	5588
фаза 3 последействия	5670
фаза 3 последействия	6006
фаза 3 последействия	5598
фаза 3 последействия	6083
фаза 3 последействия	6431
фаза 3 последействия	6228
фаза 3 последействия	5837





Н. С. ПРИЯТКИН¹, К. Г. КОРОТКОВ¹, В. А. КУЗЕМКИН², А. ВАЙНШЕЛБОЙМ³,
П. МАТРАВЕРС³

¹ *Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики*

² *Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)*

³ *Aveda Corporation. Minneapolis, MN 55449, USA*

МЕТОД ГРВ БИОЭЛЕКТРОГРАФИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ПАХУЧИХ ВЕЩЕСТВ НА ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ЧЕЛОВЕКА

Исследовалось влияние вдыхания растительных эфирных масел на состояние человека. В качестве объективизирующей методики для регистрации ответной реакции с кожного покрова пальца руки использован метод ГРВ Биоэлектрографии. Корреляционный анализ обнаруживает связь ГРВ-характеристик с параметрами психоэмоционального статуса испытуемых.

Введение

Натуральные эфирные масла широко применяются в парфюмерной, пищевой, фармацевтической промышленности, а также в ароматерапии. Наряду с натуральными, активно производятся и используются синтетические аналоги эфирных масел, имеющие более низкую стоимость. Современные химические технологии позволяют получать синтетические душистые вещества, по запаху практически не отличающиеся от природных.

Известно, что синтетические эфирные масла не обладают биологической активностью в отличие от натуральных, а также могут вызывать выраженное угнетение общей иммунологической активности и общетоксический эффект [1].

Существуют две основные теории механизма воздействия пахучих веществ на обонятельные рецепторы: химическая и волновая [1]. Результаты исследований [2] свидетельствуют, что обоняние и чувствительность человека к запахам менее зависят от химической природы, а более - от энергетического (электронного) состояния атомов пахучего вещества. Поэтому методика ГРВ как быстрый метод оценки функционального состояния биологических объектов и тонких структурных свойств материалов и жидкостей [3, 4] представляется перспективной для исследования влияния натуральных эфирных масел на человека.

Цель исследований

Разработка процедуры исследования влияния различных стимулов на психофизиологическое состояние человека на основе метода ГРВ и выявление ее пригодности для оценки влияния пахучих веществ на это состояние.

Задачи исследований

Разработка алгоритма выявления значимой реакции на основе методов статистического анализа.

Апробация разработанной адаптивной ГРВ методики на примере исследования влияния 12 натуральных эфирных масел, 6 из которых выделенных из растений, выращенных традиционным способом и 6 с использованием органических удобрений.

Исследование субъективной и объективной реакций испытуемых на воздействие пахучих веществ.

Изучение психоэмоциональных факторов, оказывающих влияние на характер объективной реакции человека, возникающей в ответ на воздействие стимула (пахучего вещества).

Материалы и методы исследований

Контингентом для исследований влияния пахучих веществ на состояние человека служили 17 человек, возраст от 17 до 60 лет, женщины, студентки Вузов

и служащие, относящиеся к категории практически здоровых людей, не имеющие аллергических реакций к пахучим веществам.

В качестве функциональной нагрузки на систему обонятельного анализатора использовали 12 пахучих веществ: 6 пар натуральных растительных эфирных масел: Лимон, Майоран, Перечная мята, Римская ромашка, Синяя ромашка, Ветиверия. Образцы масел, выращенные традиционным способом, отмечены индексом «1», выращенные органическим способом – индексом «2».

Общая методика исследований включала следующие этапы:

1. Метод ГРВ. Исследовалась динамика параметров ГРВ свечения: площадь (в пикселях на ПЗС-матрице) и коэффициент формы (в отн. ед.). Для проведения измерений ГРВ-сигнала использовали прибор «ГРВ-Камера», [5]; время экспозиции разряда - 0,5 секунды. Основу методики составляет ГРВ-съемка пальца руки каждые 15 секунд до, в процессе и после воздействия пахучего вещества. Сначала получали 20 ГРВ-изображений («фон»), затем осуществляли воздействие (испытуемому давали пробник с нанесенным на него стандартным количеством пахучего вещества), время, необходимое для регистрации 10 ГРВ-изображений стимула-одоранта составляла 2 минут 30 секунд. Затем пробник забирали и выполняли ГРВ-съемку еще 20 кадров. Пример одной серии измерений ГРВ-сигнала пальца руки до, во время и после предъявления стимула-одоранта представлены на Рисунке 1.

Реакцию испытуемого на предъявление пахучего вещества можно разделить на две стадии: фаза реакции и фаза последействия. Существенность сдвига ГРВ параметров, являющихся критерием наличия или отсутствия реакции испытуемого на воздействие одоранта оценивалась следующим образом: амплитуда параметров ГРВ-сигнала (абсолютная площадь свечения, коэффициент формы) в выделенную фазу 2 (точки 21-30) сравнивалась статистически с фоном (точки 6-20) по непараметрическому критерию Манна-Уитни, являющимся корректным статистическим критерием для анализа данных с малым числом экспериментальных точек.

2. Методика оценки качества здоровья (психосоматическое состояние).

Оценку качества здоровья испытуемых, участвовавших в эксперименте по влиянию пахучих веществ выполнили, используя *валеометрическую программу «HELPSY»* [6], в основу которой положен алгоритм диагностики качества психосоматического здоровья, разработанный в Санкт-Петербургском НИИ физической культуры и прошедший апробацию на популяции населения Северо-Запада России в возрасте от 20 до 65 лет. «HELPSY» представляет собой диалоговую систему, включающую необходимый и достаточный минимум аппаратно измеряемых объективных параметров, которые в совокупности с анамнестическими данными позволяют за счет имеющихся в базе знаний системы экспертной информации принять решение о качестве психосоматического здоровья обследуемого: персональные данные, морфофункциональные показатели (артериальное давление и пульс в состоянии покоя), актуальные жалобы психосоматического характера, наличие генетических и приобретенных факторов риска).

3. Методика оценки психоэмоционального состояния: оценку выполнили, используя стандартный психодиагностический опросник *POMS* (Profile of Mood States – Профиль состояния настроения) [7], широко использующийся в психологии спорта [8] и позволяющий изучать динамику психологического статуса личности по нескольким шкалам: тревожность, депрессия, агрессивность, активность, усталость, уверенность в себе.

4. Методика определения психотипа (темперамента) личности. В исследовании использовали бинарный типовой вариант *личностного опросника Айзенка*, включающего 57 вопросов [8] и позволяющий определять темперамент, эмоциональную устойчивость и свойства нервной системы по значениям двух ортогональных факторов (экстраверсия-интроверсия, нейротизм-стабильность).

5. Методики оценки психофизиологической и эмоционально-ассоциативной реакции человека на воздействие пахучих веществ: оценку степени предпочтения

пахучих веществ выполнили, используя разработанный опросник [9], индекс предпочтения запаха рассчитали по следующей формуле (1):

$$C = A(1 - B/(n + 1)), \quad (1)$$

где C – индекс предпочтения (отн. ед.), A – оценка запаха по 5-ти бальной шкале (отн. ед.), B – абсолютный рейтинг предпочтения (отн. ед.) – ранжирование предъявляемых пахучих веществ от самого приятного до самого неприятного, n – число предъявленных образцов масел

6. Статистическая обработки данных: методы непараметрической статистики (критерий Манна-Уитни, Уилкоксона, коэффициент корреляций Спирмана) [10], реализованные в программе Statistica 6.0. и ГРВ SciLab.

Экспериментальный протокол обследования включал: заполнение анкет и тестов; - вдыхание аромата кофе в течение 2 мин; - пауза 10 мин; - ГРВ-съемка четвертого пальца левой руки каждые 15 секунд до, в процессе и после воздействия пахучего вещества. - нейтрализация запаха ароматом кофе в течение 2 мин; - пауза 10 мин; - повторение стадии 4 для следующего пахучего вещества

Результаты исследований и их обсуждение

Результаты анализа субъективной реакции испытуемых на воздействие пахучих веществ, полученные с использованием параметра «индекс предпочтения» представлены в таблице 1.

На рисунках 2 и 3 приведены гистограммы значений вероятности реакции испытуемых на воздействие эфирных масел. Результаты анализа выявили, что ГРВ методика обеспечивала объективизацию реакции испытуемого на воздействие пахучих веществ с вероятностью до 53%. Это означает, что в случае, например, тестирования воздействия образца «Римская ромашка 2» из 17 испытуемых 9 обнаружили статистически значимую реакцию, у 8 испытуемых статистически значимой реакции не выявлено. Однако статистически значимые различия удалось выявить лишь в случае одной пары образцов эфирных масел «Римская ромашка» по ГРВ параметру «Коэффициент формы».

Корреляционный анализ характеристик ГРВ-сигнала и психоэмоционального статуса выявил положительную связь (коэффициент корреляции $r=0,52$ при уровне значимости $p<0,05$) между степенью выраженности реакций человека-оператора на аромат с его психологическим состоянием (уровнем тревожности), определяемым с помощью опросника "POMS" т.е., испытуемые, имевшие высокий уровень тревожности обнаружили высокую вероятность реакции на воздействие пахучего вещества. Это полностью согласуется литературными данными [11], согласно которым эмоциональное возбуждение может увеличивать чувствительность к запахам. Другим возможным объяснением обнаруженного эффекта является механизм плацебо [12], т.е. неспецифическая реакция на предъявление стимула, обусловленная самовнушением испытуемого, которая очевидно, должна быть выше у испытуемых с высоким уровнем тревожности.

Результаты комплексного анализа психофизиологических факторов, влияющих на объективную оценку реакции испытуемых на воздействие пахучих вещества, представлены на рисунке 4.

Изменения состояния испытуемого в момент предъявления стимула-одоранта можно описать величиной V (отн. ед.), рассчитываемой по следующей формуле:

$$V = \frac{(SDA_{Ph2} - SDA_{Ph1})}{SDA_{Ph1}}, \quad (2)$$

где SDA_{Ph1} – среднее значение стандартного отклонения параметра площади ГРВ-изображений (в пикселях), зарегистрированных до предъявления стимула, а SDA_{Ph2} – среднее значение стандартного отклонения параметра площади ГРВ-изображений (в пикселях) в момент предъявления стимула.

Результаты свидетельствуют, что испытуемые (№№ 4, 11, 17, 18, 27) имеющие высокий уровень нейротизма и тревожности, с также низкий показатель V ($V<-0,2$) образуют на трехмерном графике группу точек, близкорасположенных друг к другу, соответствующих вероятности реакции на воздействие одорантов $> 40\%$. Исключение составил испытуемый №16. Остальные обследованные,

имеющие либо низкий уровень нейротизма и (или) тревожности и высокий показатель V ($V > -0,2$) образуют на трехмерном графике группу разрозненных точек, соответствующих вероятности реакции на воздействие одорантов $< 40\%$. Выявлены корреляции параметра V с уровнем нейротизма (значение коэффициента корреляции $r=-0,57$ при уровне значимости $p=0,014$) и уровнем тревожности (T) ($r=-0,59$; $p=0,026$).

Данные корреляционного анализа совпадают с ранее полученными результатами российских исследователей, обнаруживших корреляционную связь ГРВ изображений, характеризующихся пониженным уровнем площади засветки, а также наличием различных дефектов, с показателями психоэмоционального статуса, в том числе: высоким уровнем тревожности, выявленного по тестам ROMS [8, 13] и шкале Спилбергера-Харина [14]; высоким уровнем нейротизма, выявленного по тесту Айзенка [15].

Выводы

Разработанная процедура исследования может рассматриваться как инструмент в решении проблемы учета воздействия условий окружающей среды на состояние человека.

Динамика ГРВ-изображений в момент предъявления стимула (пахучего вещества) связана с изменением психоэмоционального статуса испытуемого, при этом на конечный результат влияют ситуативные составляющие психологического состояния.

Работа выполнена при поддержке Конкурсного центра фундаментального естествознания Минобробразования России (Номер гранта М04-3.5.К-48) и компании «Эсти Лаудер», США.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Николаевский В. В.* Ароматерапия: Справочник. М.: Медицина, 2000. 336с.
2. *Turin L. A.* spectroscopic mechanism for primary olfactory system // Chem. Senses. 1996, Vol. 21, No 6. P.773-791.
3. *Коротков К. Г.* Основы ГРВ Биоэлектрографии. Л.: Изд-во СПбГУИТМО, 2001. 360 с.

4. *Korotkov K., Krizhanovsky E., Borisova M., Korotkin D., Hayes M., Matravers P., Komoh K. S., Peterson P., Shiozawa K., Vainshelboim A.* Time dynamics of the gas discharge around drops of liquids // J. Appl. Phys. 2004, Vol.95, No 7. P. 3334-3338.
5. *Коротков К.Г.* Физические механизмы и принципы построения систем ГРВ Биоэлектрографии. // Изв. вузов. Приборостроение. 2005. Т. 48, №11.
6. *Бундзен П. В., Баландин В. И., Загранцев В. В., Евдокимова О. М.* Современные технологии валеометрии и укрепления здоровья населения // Теория и практика физической культуры. 1998, № 9. С. 7-12.
7. *Mc Nair M., Lorr M., Droppleman L.* POMS Manual. San Diego, California. 1992. 40 с.
8. Разработка технологии прогнозирования психофизической готовности и соревновательной надежности спортсменов / Вестник Северо-западного отделения Акад. мед.-техн. наук РФ. Выпуск 4. Под ред. К.Г. Короткова // СПб.: Изд-во «Агенство «РДК принт», 2001. С. 91-111.
9. *Прияткин Н. С., Куземкин В. А., Коротков К. Г., Вайншелбойм А.* Разработка методики биоэлектрографической регистрации воздействия пахучих веществ на психофизиологическое состояние человека // Материалы Всер. научн.-техн. конф. «Биотехнические системы в XXI веке». СПб., 2004. С.98-99.
10. Боровиков В. STATISTICA: искусство обработки данных на компьютере. Для профессионалов. – СПб., Питер, 2001. –656с.
11. *Пекли Ф. Ф.* Ароматология. М.: Медицина, 2001. 288с.
12. *Jellinek J. S.* Psychodynamic odor effects and their mechanisms. Cosmet. Toiletr., 1997, Vol. 112. P.61–71.
13. *Бундзен П. В., Загранцев В. В., Назаров И. Б., Rogozkin B. A., Коллодий О. В., Коротков К. Г.* Генетическая и психофизическая детерминация квантово-полевого уровня биоэнергетики организма // Теория и практика физической культуры. 2002, №6. С.40-44.
14. *Магидов М.Я.* Оценка психологического состояния и ГРВ-анализ у больных бронхиальной астмой / Вестник Северо-западного отделения Акад. мед.-техн. наук РФ. Выпуск 4. Под ред. К.Г. Короткова // СПб.: Изд-во Агенство «РДК принт», 2001. С. 88-90.
15. *Зусманович Ф. Н., Булатова Т. Е., Абдрашитов А. Ф., Ловыгина О. Н.* Использование метода Кирлиан как объективного экспресс-метода оценки состояния пациентов при психотерапевтическом воздействии / Теория и практика газоразрядной фотографии: Сб. науч. тр. // Кубан. гос. ун-т Краснодар, 2003, Т.33. С. 30-36.

Рекомендована кафедрой
проектирования компьютерных
систем

Поступила в редакцию

Таблица 1

Образцы одорантов	Индекс предпочтения, отн. ед.
Лимон	$3,81 \pm 0,29$
Перечная мята	$2,62 \pm 0,44$
Майоран	$1,51 \pm 0,31$
Римская ромашка	$1,25 \pm 0,38$
Ветиверия	$0,84 \pm 0,40$
Синяя ромашка	$0,58 \pm 0,42$

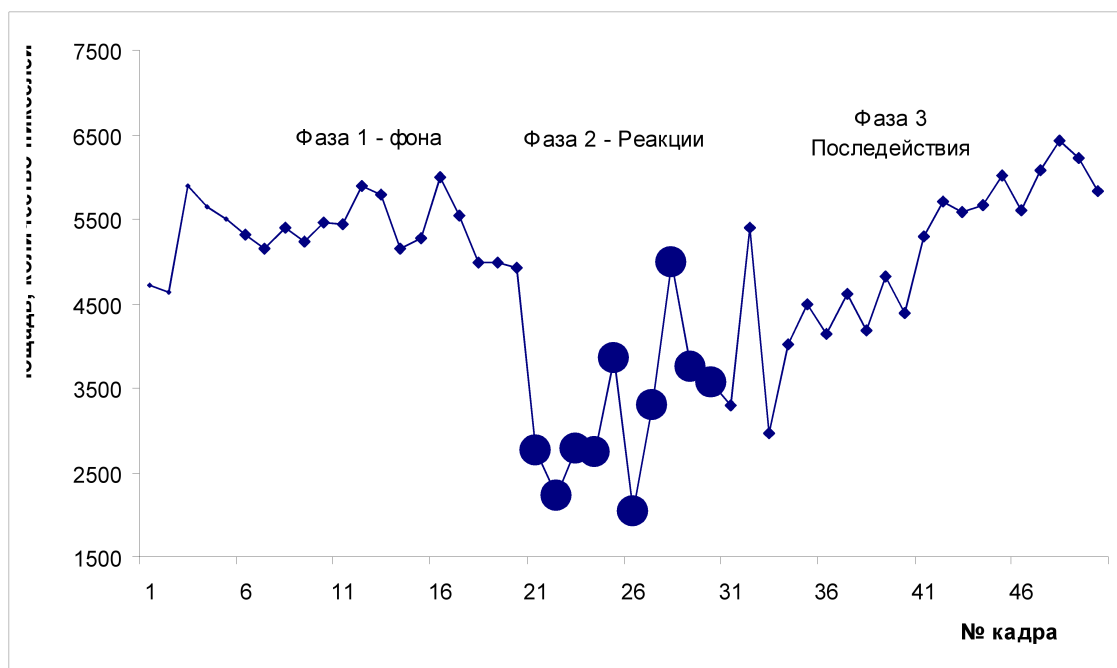


Рисунок 1

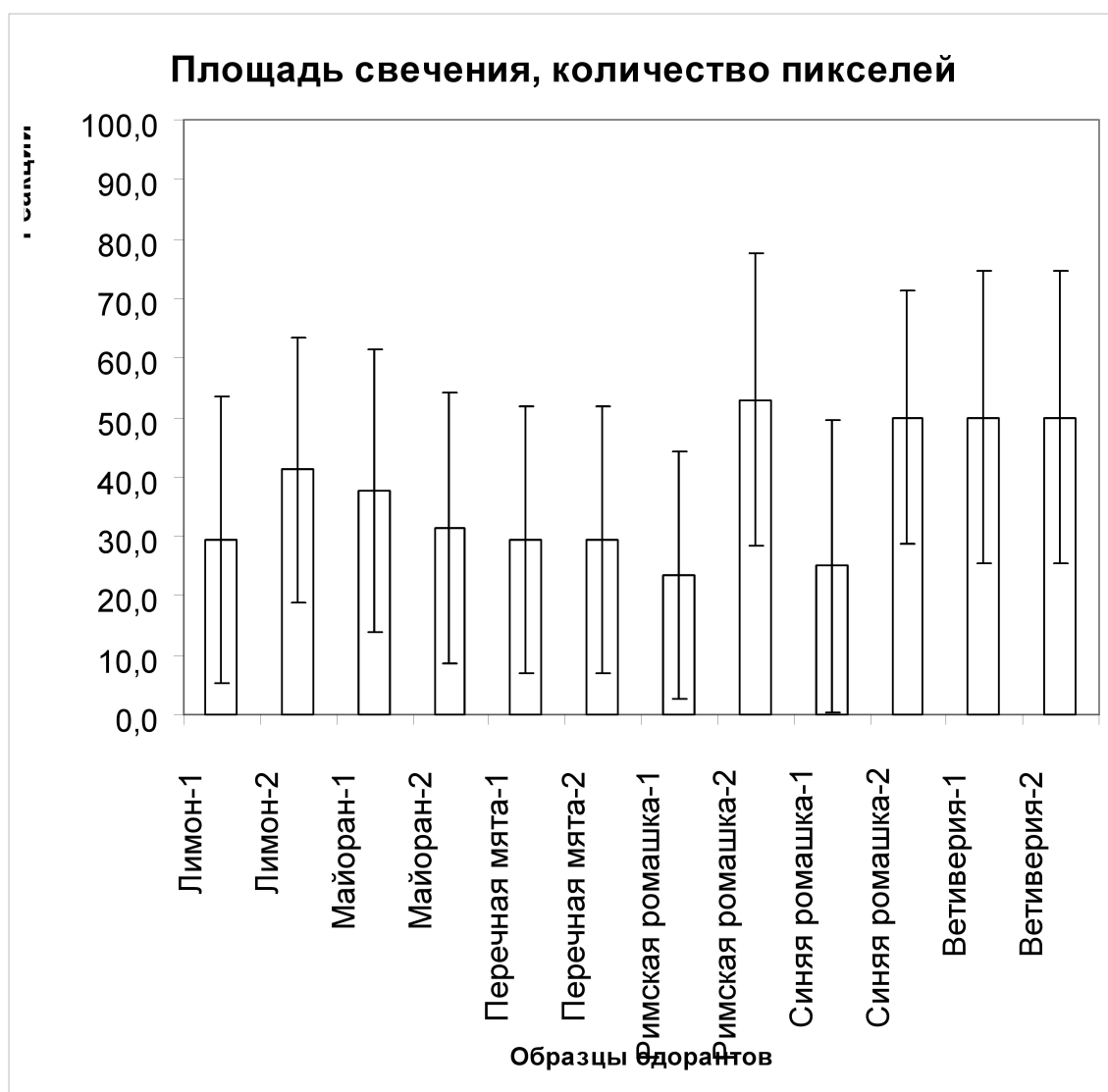


Рисунок 2

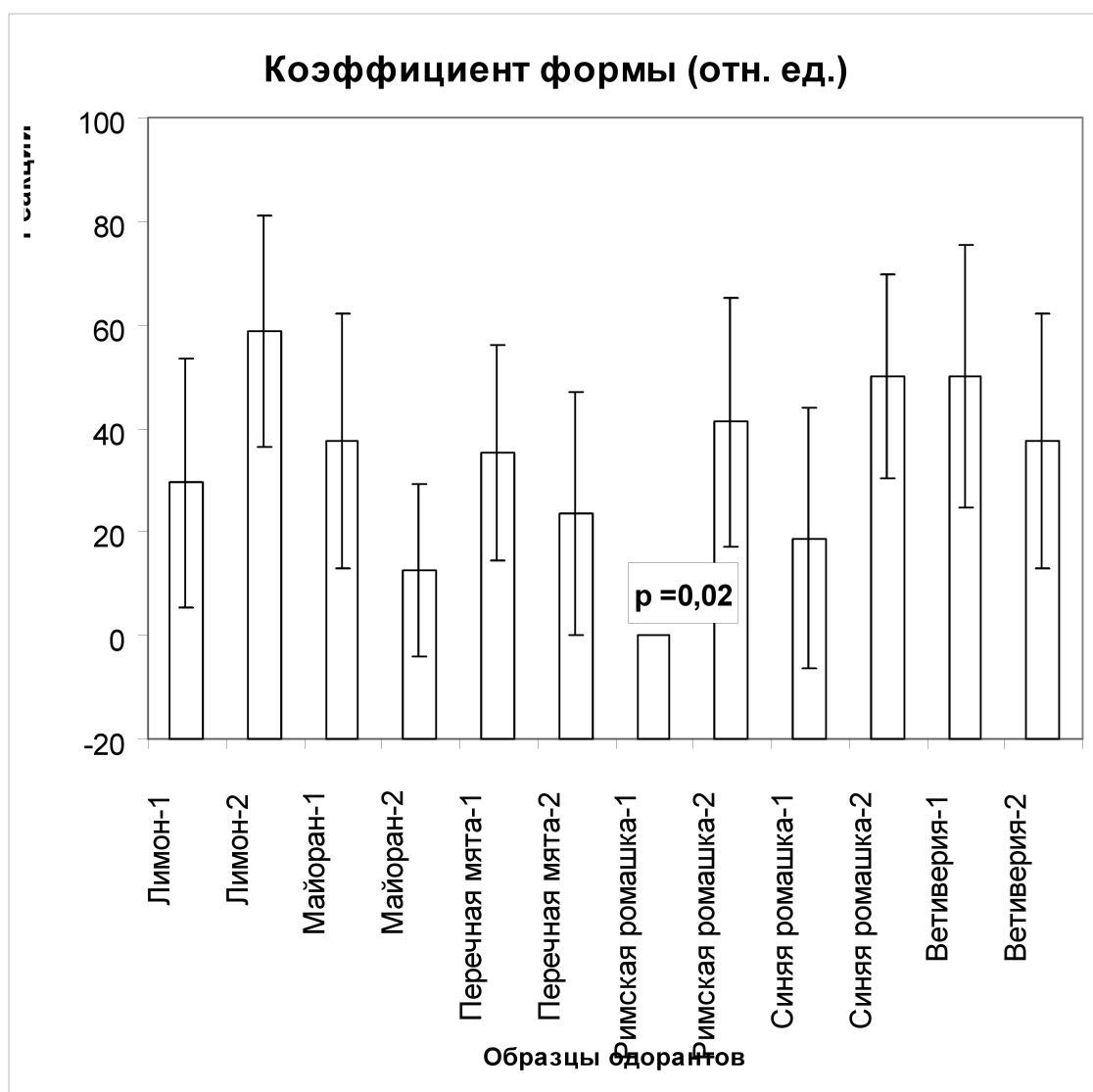


Рисунок 3

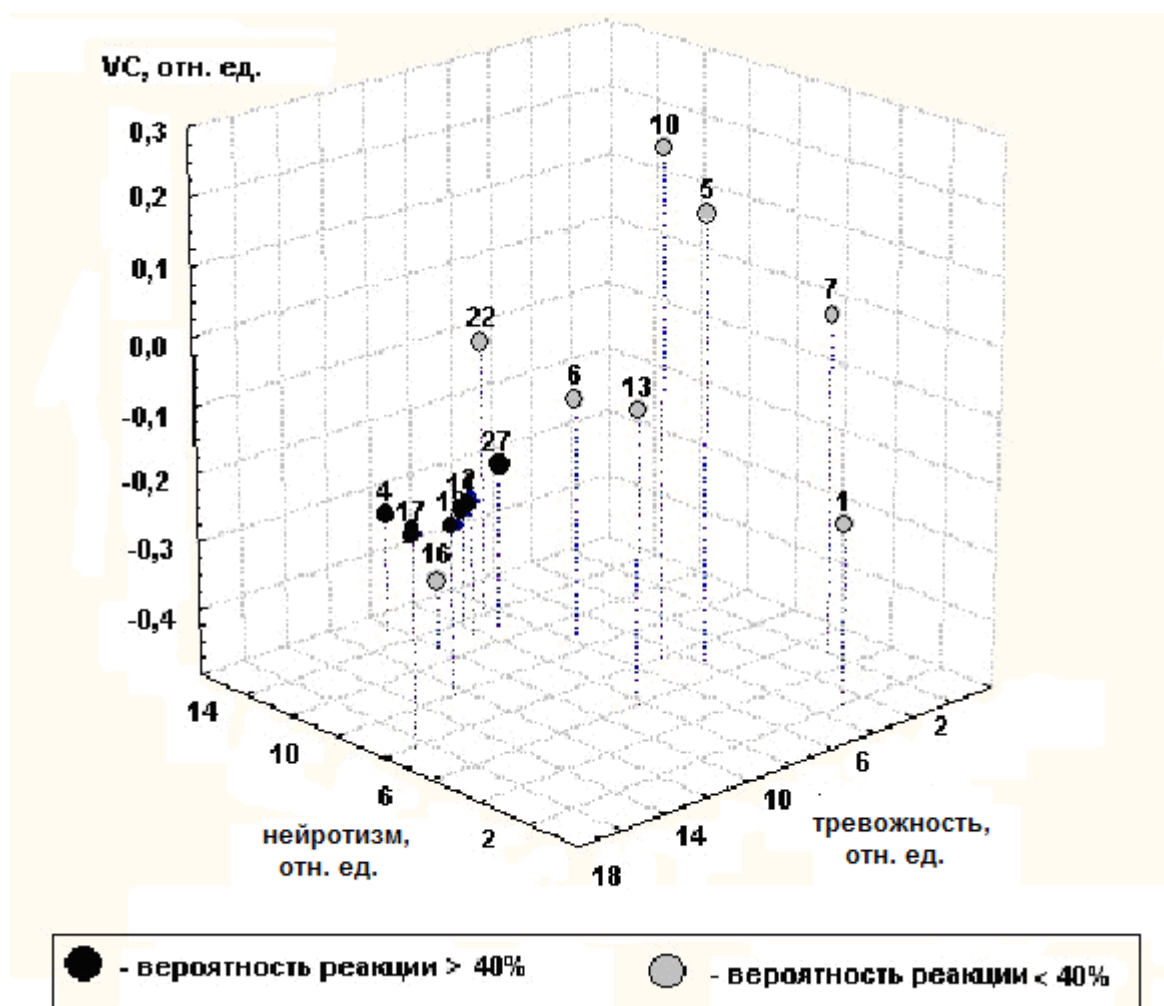
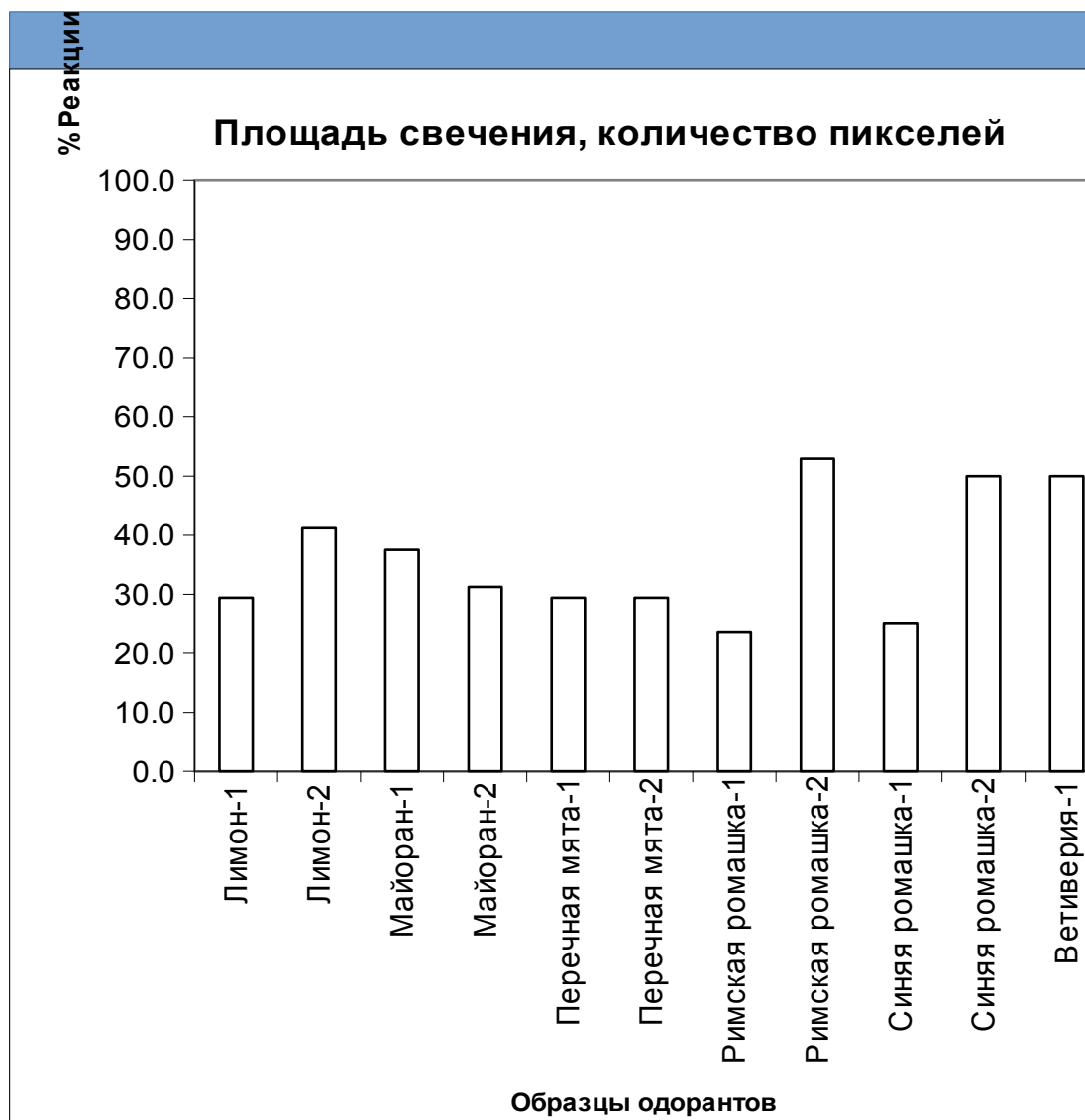


Рисунок 4

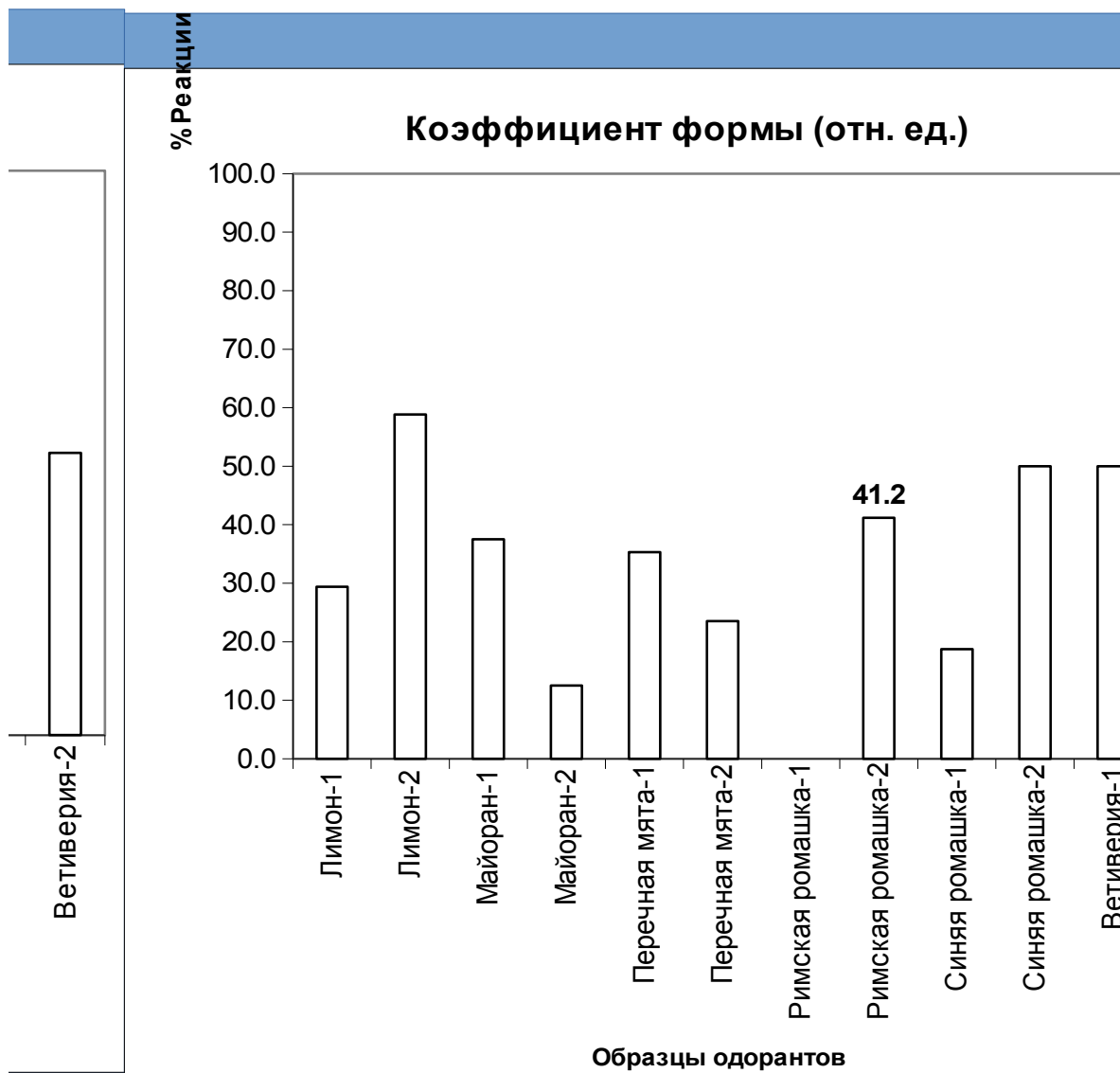
Area	Лимон-1	Лимон-2	Майоран	Майоран	Перечная	Перечная	Римская	Римская	Синяя р	Синяя	Ветивер
% Среднее	29.4	41.2	37.5	31.25	29.4	29.4	23.5	52.9	25	50	50
Доверит	24.12	22.33	23.77	22.76	22.33	22.33	20.78	24.46	24.55	21.26	24.55

FC	Лимон-1	Лимон-2	Майоран	Майоран	Перечная	Перечная	Римская	Римская	Синяя р	Синяя	Ветивер
% Среднее	29.4	58.8	37.5	12.5	35.3	23.5	0	41.18	18.75	50	50
Доверит	24.1	22.3	24.5	16.7	20.8	23.4		24.12	25.3	19.75	25.3



Ветиверия-2
50
24.55

Ветиверия-2
37.5
24.5



Ветиверия-2	



ОЛАЛЬДЕ Х.

Образовательный медицинский центр адаптации, Каракас, Венесуэла

СИСТЕМНАЯ ТЕОРИЯ МЕДИЦИНЫ

Представлена системная теория медицины, основанная на идее трех основных компонентов здоровья: организации, энергии и информации. Стратегия лечения заключается в поиске натуральных средств, влияющих на каждый из этих факторов. Постулируется, что уровень здоровья определяется как производное отмеченных факторов и с достижением ими идеального уровня здоровье пациента возвращается к норме. Клинические результаты подтверждаются с использованием метода ГРВ.

В работе предложены следующие основные постулаты:

Живая система: совокупность элементов, работающих в гармонии, во взаимодействии друг с другом, для достижения общей цели выживания. Это определение относится ко всем уровням организации живого, от вирусов и бактерий до людей, групп, организаций и стран.

Энергия (Е): Источник, вызывающий действие или движение, внутренняя причина явлений.

Информация (I): Фактор, регулирующий и объединяющий части живой системы в единую общность, направляемую на цель выживания.

Организация (О): Группа элементов, организованная как функциональная единица, служащая целям, определяемым управляющей информацией. В живой системе функции, выполняемые I, Е и О можно сравнить с функциями водителя, топлива и автомобиля.

Задача Живой системы - это достижения максимума выживания.

Информация – это основа функционирования живых систем. Она контролирует, регулирует, приспособливает и развивает живые системы. В ее отсутствии возникает хаос. Живые системы не могут существовать без информации.

Общий деноминатор всех живых систем – это триединство I, E и O. Этот деноминатор образует триаду, потому что ни один из этих элементов не может существовать без двух других.

Когда E, I или O уменьшается, два других элемента тоже уменьшаются. При возрастании одного из них два других тоже возрастают. И, наконец, если один из элементов исчезает, система гибнет. Баланс E, I и O отражает статус здоровья живой системы. Под здоровьем в данном рассмотрении понимается потенциал выживания.

Информация в системе служит для использования энергии с целью достижения оптимальной организации. Следовательно, система не может оптимально функционировать в условиях энергодефицита. Это также приводит к созданию структуры оптимальной для производства энергии.

Применение Золотых правил Системной Медицины

Объективная цель золотых правил Системной Медицины – обеспечение потока отрицательной энтропии [1] к живой системе. Золотые правила формируют критерии для использования фитомедицины в целях защиты и восстановления уровня Здоровья.

Золотое правило № 1: Каждая и все терапевтические формулы должны включить: препараты фитомедицины, обеспечивающие энергию, индуцируемую фитомедициной, обеспечивающую жизненное питание, а также травы или другие лекарства, целью которых является исправление определенного заболевания.

Золотое правило № 2: Природа болезни определена первой затронутой стороной триединства: Энергия-Информация-Организация на иммунном, биохимическом или клеточном уровне.

Золотое правило № 3: Лечение болезни требует, чтобы первую затронутую сторону рассмотрели с самым большим акцентом, так как это - происхождение болезни.

Золотое правило № 4: Этиология большинства патологий (не всех) заключается в коллапсе Биологического Информационного Обмена. Таким образом, жизненно важно включить в большинство протоколов фитомедицину, восстанавливающую Информационный Обмен.

Системная Медицина - новая система назначения главным образом травяных лекарств (в некоторых случаях поддерживаемых галеновыми препаратами медленного действия, такими как гомеопатия) для хронических дегенеративных болезней, неизлечимых обычными средствами. Это основано на системном подходе к пониманию здоровья [4, 5]. Стратегия обработки основана на идентификации и предписании трав или других лекарств, которые усиливают Энергию, Биологическую Информацию и Организацию - структуру и функцию. Главная предпосылка - то, что, когда все три фактора вернулись на идеальные уровни, состояние пациентов начинает восстановление к нормальному здоровью. Следующая секция иллюстрирует эффективность Системной Медицины в четырех различных патологиях – лечении диабетических язв ног, псориаза, рака простаты и хронической почечной недостаточности.

Приложение развитых принципов для лечения

1. Диабетические язвы ног.

Препараты фитомедицины в соответствии с изложенными принципами были применены к лечению 91 пациента с тяжелыми стадиями диабетических язв. В исследованиях оценивались следующие параметры: клиническая экспертиза врачом; самооценка относительно качества жизни [2]; шкала серьезности заболевания Вагнера [3]; ГРВ параметры [1] и уровень глюкозы в плазме крови пациента. Все параметры измерялись до, в течение и после лечения. В некоторых случаях были выполнены тесты на гликозилированный гемоглобин и почечная функция. Продолжительность терапии 15-90 дней. Состояние до лечения у 43 %

всех пациентов (39) градуировалось величиной баллов 3 – 5 по шкале Вагнера, то есть имели высокую вероятность ампутации. Наблюдение продолжались в течение двух лет в 2003-2004 гг.

Клинические улучшения наблюдались у 77% пациентов, ампутация была отменена в 74.3%, значительное улучшение качества жизни в 84% при высокой общей переносимости лечения 96.7%. Примечательно, что ампутация была предотвращена в 74 % всех случаев у градуируемых величиной баллов 3 - 5 и полное заживление было достигнуто во всех случаях. В других случаях наблюдалось улучшение качества жизни, без полного уменьшения симптомов или их исчезновения. Это достаточно, чтобы полагать, что лечение имело положительный успех, что является доказательством работоспособности метода на этой патологии.

2. Тяжелый псориаз.

Ретроспективное исследование было выполнено на 123 пациентах, переносящих тяжелый псориаз, при котором 25 % и более поверхности тела покрыто пятнами, наблюдались ограничения в подвижности из-за эффектов болезни в конечностях и измененное эмоциональное состояние, мешающее пациенту нормально существовать. Клинические улучшения были оценены размерами и числом ран, улучшением признаков псориаза, переносимостью лечения и улучшении качества жизни. Лечение было проведено в период с апреля 2002 по июль 2004. Средний возраст пациентов – 43,3 года +/- 15 лет, половой состав пациентов: 59% мужчин и 41% женщин. Клиническое улучшение наблюдалось у 77,3% (96 человек); стабилизация клинического состояния в 21% случаев (21 человек); качество жизни улучшилось на 82,9%. Все пациенты хорошо перенесли лечение.

3. Заключительная (терминальная) стадия рака простаты.

Ретроспективное исследование выполнено на 30 пациентах, градуированных состоянием D2 согласно методу классификации Whitmore-Jewett – с ганглиозами отдаленных лимфатических узлов, метастазами костей и/или внутренних органов.

Измерялись следующие параметры: анализ мочи, болезненность костей, PSA, качество жизни и переносимость боли. Средний возраст 68.7+/-8 лет.

Заключение

Таблица 1 дает резюме результатов 119 пациентов из названных групп, при анализе состояния которых был применен метод ГРВ. Ретроспективные исследования, проведенные в четырех различных патологиях определенной этиологии, показали:

-74 % ремиссии в случаях, диагностированных для ампутации при диабетических язвах ног.

-77 % ремиссии у пациентов, страдающих от серьезного псориаза.

-79 % улучшение или задержание патологии замеченной в CRF.

-79 %, 88% и 77% улучшение анализов мочи, костных симптомов и PSA соответственно при раке простаты.

-83%-89 % улучшения качества жизни во всех патологиях.

-96-100 % переносимость лечения во всех патологиях.

Все пациенты получали ортодоксальное лечение и лечение Системной медициной, которое стало терапией первого порядка. Кроме того, для псориаза и терминальной стадии рака простаты, системная терапия стала единственной альтернативой для пациентов.

Таблица 1. Изменение параметров ГРВ-грамм в процессе системного лечения.

Обследования (Дни от начала лечения)	Средняя площадь ГРВ- грамм (пкс)	Кол-во случаев	Увеличение площади %	Улучшение качества жизни %	Улучшение функц. показателей %
Исходное	18139	119	_____	_____	_____

Второе (27)	23173	119	27.7	82.6	78.18
Третье (50)	22987	47	26	86.5	81.84
Четвертое (82)	24294	18	28.4	88.8	90.9

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Korotkov K. (ed.) Measuring Energy Fields. 2004. Backbone Publishing Co- Fair Lawn, USA; p. 249-258.
2. Grogono A. W., Woodgate D. J. Index for measuring health. Lancet. 1971 Nov; 2 (7732):1024-6.
3. Wagner F. W. The dysvascular foot: a system of diagnosis and treatment. Foot Ankle 1981; 2 : 64-122.
4. Olalde J. Systemics La Revolución de los Adaptogenos en la Salud. 2001. Editorial Melvin C.A. Caracas, Venezuela.
5. Olalde J. El Cáncer sí se cura. 2003. Editorial: Adaptogenos Internacionales C.A. Caracas, Venezuela.

Рекомендована кафедрой
проектирования
компьютерных систем

Поступила в редакцию

П. О. ГАГУА¹, Е. Г. ГЕДЕВАНИШВИЛИ¹, Л. Г. ГЕОРГОБИАНИ¹, К. Г. КОРОТКОВ²,
С. А. КОРОТКИНА², Г. Г. АХМЕТЕЛИ², Э. В. КРЫЖАНОВСКИЙ²

¹ *Национальный Онкологический Центр Грузии, Тбилиси*

² *Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ГРВ БИОЭЛЕКТРОГРАФИИ В ОНКОЛОГИИ

Проведено исследование потенциальных возможностей применения методики ГРВ в онкологической практике. Выявление наличия потенциала метода ГРВ для прогностики и мониторинга состояния пациента в процессе комплексного онкологического лечения. Во всех исследованных случаях было обнаружено статистически значимое отличие между ГРВ параметрами онкологических пациентов и не онкологической группы.

Введение

Большое количество заявок сделано о диагностических возможностях фотографии Кирлиана в изучении рака [1,2,3]. Наиболее скрупулезное исследование было проведено американским исследователем Л.В.Коникевичем [4], который в лабораторных условиях, правильно идентифицировал пациентов с кистозным фиброзом. Он также обнаружил, что день менструального цикла влияет на изменение яркости энергетического поля и, по признакам свечения можно определить день овуляции. Характер свечения отличался у пациенток, применяющих оральные контрацептивы. Позднее [5] той же группы были сообщены результаты успешного диагностирования ранних стадий рака, а также других абдоминальных физиологических нарушений. Этот подход был воспроизведен при исследовании большого количества женщин с раком шейки матки при высокой статистической значимости данных [6]. Пилотное

исследование по определению разницы между ГРВ параметрами образцов крови здоровых людей и онкологических пациентов продемонстрировало достоверное отличие [7].

В 1999 совместный проект по ГРВ измерениям онкологических пациентов был начат специалистами Национального Онкологического Центра Грузии, Тбилиси и Санкт-Петербургского Университета ИТМО, Россия. Первые результаты были представлены в 2000 [8] и затем в 2001 гг. [9]. Более 2000 пациентов с разными видами рака были исследованы при помощи ГРВ методики в течение нескольких лет. В данной работе представлены данные по раку легких и молочной железы.

Оборудование и методы

ГРВ биоэлектрографические параметры 10 пальцев обеих рук [10] были измерены при помощи компьютеризированного комплекса «ГРВ-камера». Все ГРВ-граммы были сняты с фильтром [10] с тем, чтобы они не зависели от психологического состояния субъекта.

Клинические испытания, в которых было исследовано большое количество субъектов, наглядно продемонстрировали, что о состоянии легких и бронхов, а также молочных желез можно судить по особенностям нижнего сектора ГРВ-граммы мизинцев (5R и 5L), а состояние эндокринной системы отображается в нижнем секторе безымянных пальцев [10,11,12]. Эти данные коррелируют с Диагностическими таблицами пальцев по П. Манделю [13] и К. Короткову [10], которые основаны на идеях традиционной китайской медицины. Поэтому компьютерная обработка изображения на основе специально разработанного пакета программ состояла из нескольких шагов:

1. Фильтрация шума, согласно принципам, данным в [10];
2. Вычисление «центра тяжести» ГРВ-граммы пальца;
3. Отсечение нижнего 60° сектора ГРВ-граммы.

4. Вычисление основных параметров для данного сектора: площадь, коэффициент формы, энтропия, яркость и фрактальность согласно принципам, данным в [10].
5. Статистическая обработка параметров с использованием стандартного пакета программ "STATISTICS 5.0".

Данный подход позволил выявить специфические характеристики состояния легких и молочных желез, без возможного влияния информации от других систем и органов.

Данные были собраны в период 1999-2002 в Тбилиси. Обработка данных была проведена в 2003 в С.Петербурге. Все ГРВ-граммы были пронумерованы без указания на пациентов или здоровых людей. Один специалист занимался компьютерной обработкой изображения, другой сотрудник занимался статистическими подсчетами. Тем самым условия эксперимента можно считать слепым экспериментом.

Субъекты

Для окончательного анализа были отобраны 109 пациентов обоих полов с раком легких III степени и 140 женщин с III степенью рака молочной железы. Критерием выбора был клинически подтвержденный биопсией тканей диагноз. С пациентами было проведено ГРВ измерения до лечения, через 2 и 6 недель после завершения курса лечения. Все измерения производились утром спустя 1 час после туалета, на пустой желудок, в спокойной обстановке, в одном и том же кабинете клиники, перед лечебными или диагностическими процедурами.

В качестве контрольной группы были исследованы 44 практически здоровых человека обоих полов и 54 женщины с разными не-онкологическими состояниями.

Экспериментальные данные

Анализ ГРВ параметров большой группы людей показал, что измерения можно описать гауссовым распределением, что позволяет использовать параметрическую статистику, в частности, t-test для сравнения групп данных.

Таблица 1 представляет данные по статистически достоверной (при уровне значимости $p < 0,05$) (Вероятность отсутствия различий между исследуемыми группами менее 5%) разнице между ГРВ параметрами группы с раком и здоровыми людьми.

Как видно из приведенных данных, значительная разница была обнаружена в ГРВ-граммах мизинцев больных (С) и здоровых (Н) людей, что коррелирует с идеей секторной репрезентации [10, 13]. Во всех этих случаях значение ГРВ параметров мизинцев было выше для пациентов с раком в сравнении со здоровыми людьми. Это можно рассматривать как признак активации энергосистемы вследствие развития болезни. Данный вывод коррелирует с заключениями по группе больных после абдоминального хирургического вмешательства (см. статью Полушина Ю.С. и др. в настоящем сборнике). Для других пальцев эта разница есть практически во всех случаях, но не имеет статистической значимости в сравнении с мизинцами.

Статистически значимая разница между ГРВ параметрами группы с раком груди и группы женщин с неонкологическими проблемами внушает надежду, что будет возможным найти специфические ГРВ корреляты онкологических нарушений на ранней стадии развития рака.

Выводы

1. Статистический анализ большого объема экспериментальных данных, собранных в течение длительного периода времени, показал статистически значимые отличия ГРВ параметров пациентов с раком молочной железы и легких от здоровых людей.

2. После лечения ГРВ параметры больных демонстрируют сближение со значениями «здоровых».

3. Было обнаружено, что мизинец является наиболее показательным для частной нозологии, что коррелирует с идеями китайской медицины о меридианах, которые находятся на пальцах.

Дальнейшие исследования

Результаты представленного анализа вместе с данными других исследований демонстрируют, по меньшей мере, две линии практического применения для разработанных ГРВ методик.

1. Мониторинг пациентов с раком в курсе лечения и в процессе восстановления. Данная линия полностью разработана и может быть рекомендована для медицинской практики, поскольку приборы ГРВ и методики обработки данных сертифицированы и выпускаются серийно. Если принимать во внимание тот факт, что в современной медицине практически отсутствуют простые, бесконтактные, недорогие средства мониторинга состояния здоровья, то мы можем признать, что ГРВ камера – уникальная система, необходимая для повседневного контроля за состоянием здоровья.

2. Представленные результаты дают надежду на развитие системы ранней диагностики рака на базе оценки ГРВ параметров и систем активного мониторинга. Эта система должна основываться на многопараметрической компьютерной обработке баз данных, аналогично подходу систем искусственного интеллекта, успешно апробированного на данных ГРВ изображений [14]. Хорошо известно, что рак, выявленный на ранней стадии, может с успехом лечиться современными медицинскими средствами. ГРВ анализ может служить первой ступенью регулярного осмотра. Любой человек, который посещает медицинское учреждение, при помощи этой системы может пройти осмотр. Мы можем представить, что даже в домашних условиях ее можно использовать, передавая информацию через Интернет специалисту, методами телемедицины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Dakin H. S.* 1975. High-voltage photography. -San-Francisco.

2. *Krippner S., Rubin D.* 1973. *Galaxies of Life: The Human Aura in Acupuncture and Kirlian Photography*, Gordon and Breach Science Publishers, Inc.
3. *Milhomens Newton* 1997. *Fotos Kirlian – Como Interpretar*. Ibrasa. Sao Paulo.
4. *Konikiewicz L. W.* 1979. *Introduction to Electrography*. Leonard's Associates Press. Harrisburg, PA.
5. *Konikiewicz L. W., Grif L. C.* 1984. *Bioelectrography: A new method for detecting cancer and monitoring body physiology*. Leonard's Associates Press. Harrisburg, PA, Second Edition.
6. *Chouhan R., Radgan P., Rao Sh.* 1998. Comparison of bioelectrography images of healthy subjects and patients with cervix of the uterus cancer. In: *From Kirlian effect to bioelectrography*. Korotkov K., Taylor R. (ed). St. Petersburg. "Olga" Publ. (in Russian).
7. *Korotkov K., Gurvitz B., Krylov B.* 1998. New conceptual approach to early diagnosis of cancer. In: *Korotkov K. Aura and Consciousness – New Stage of Scientific Understanding*. St.Petersburg, Russian Ministry of Culture.
8. *Vepkhvadze R. J., Gagua R. O., Gedevanishvili E. G., Kuchava V. O., Kapanadze A. B., Khvedelidze E. Sh., Giorgobiani L. E., Osmanova V. P.* 2000. Results of clinical and beoelectrographical researches in oncology. In: *Proceedings of the International Congress "Science, Information, Spirit"*, St. Petersburg, 2000. pp 8-9.
9. *Vepkhvadze R. J., Gagua R. O., Gedevanishvili E. G., Giorgobiani L. G., Korotkov K. G., Kapanadze A. B., Kuchava V. O., Lomidze Z. T., Osmanova V. R.* 2001. Preliminary Results of GDV (Gas Discharge Visualization) Monitoring Of Patients With Lung And Breast Cancer. In: *Proceedings of the International Congress "Science, Information, Spirit"*, St. Petersburg, p.6.
10. Коротков К. Г. Основы ГРВ Биоэлектрографии. Л.: Изд-во СПбГУИТМО, 2001. 261с.
11. *Александрова Р., Зайцев С., Филиппова Н., Марченко В., Гвоздев Е.* 2001. Анализ секторных изменений биоэлектrogramмы и влияний особенностей вегетативного гомеостаза на площадь газоразрядного изображения при разных режимах его регистрации у больных бронхиальной астмой // Тезисы 5-го международного конгресса по биоэлектрографии «Наука. Информация. Сознание». – СПб., 2001. С. 14-16.
12. *Гимбут В.С., Чесноситов А.В.* 2001. Некоторые особенности показателей ГРВ точек акупунктуры, связанные с маткой, у беременных а различным латеральным поведенческим фенотипом // Тезисы 5-го международного конгресса по биоэлектрографии «Наука. Информация. Сознание». – СПб., 2001. С. 19-21.
13. *Mandel P.* 1986. *Energy Emission Analysis; New Application of Kirlian Photography for Holistic Medicine*. Synthesis Publishing Co., Germany.
14. *Kononenko I.* Machine learning for medical diagnosis: history, state of the art and perspective. *Artificial Intelligence in Medicine*. 2001: 23, 89

Рекомендована кафедрой
проектирования компьютерных
систем

Поступила в редакцию

Таблица 1. Статистически достоверная разница между ГРВ параметрами группы с раком (С) до лечения и здоровыми людьми (Н). $p < 0.01$, (*) $p < 0.05$.

Палец/патология	Площадь	Энтропия	Фрактальность	Коэфф. формы	Яркость
1L легкие	$C < H$	$C < H$ (*)	$C > H$ (*)		
1R легкие	$C < H$				
4L легкие	$C > H$ (*)			$C < H$ (*)	$C < H$
4R легкие					
5L легкие	$C > H$	$C > H$	$C > H$	$C > H$	
5R легкие	$C > H$	$C > H$	$C > H$	$C > H$	
1L м.ж.					
1R м.ж.	$C < H$				
4L м.ж.					
4R м.ж.					
5L м.ж.	$C > H$		$C > H$		
5R м.ж.	$C > H$	$C > H$	$C > H$	$C > H$	

Ю. С. Полушин¹, К. Г. Коротков², Е. Ю. Струков¹, Д. Л. Макаров¹,
Д. М. Широков¹

¹Военно-Медицинская Академия, Санкт-Петербург

*²Санкт-Петербургский государственный университет информационных
технологий, механики и оптики*

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ГРВ БИОЭЛЕКТРОГРАФИИ В ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ ОРГАНИЗМА ПРИ КРИТИЧЕСКИХ СОСТОЯНИЯХ

Выполнена оценка информативности методики ГРВ для оценки функционального состояния больных в послеоперационном периоде. Выявлено, что показатели ГРВ-изображений достоверно различаются у практически здоровых людей и больных с хронической абдоминальной хирургической патологией, а их динамика зависит от тяжести соматического состояния пациента.

Целью работы являлась оценка информативности метода ГРВ с позиции анестезиолога-реаниматолога при функциональном обследовании больных в периоперационном периоде. Для этого были поставлены следующие задачи:

Задачи. Изучить возможности метода ГРВ для оценки функционального состояния, а также психологического статуса больных, нуждающихся в хирургическом лечении.

Провести оценку значимости показателей, полученных с помощью метода ГРВ, с выделением среди них наиболее информативных.

Получить представление о месте данного метода в комплексном предоперационном обследовании функционального состояния пациентов с хронической абдоминальной хирургической патологией.

Исследовать возможность использования метода ГРВ для мониторинга функционального состояния пациента в послеоперационном периоде.

Материал и методы исследования

Регистрация ГРВ изображений осуществлялась при помощи прибора «ГРВ-Камера» [1]. Объектом исследования были 10 пальцев рук здоровых и больных людей. Съемка ГРВ-грамм проводилась как в режиме регистрации «без фильтра», так и «с фильтром» [1]. В результате обработки статических ГРВ-грамм с помощью пакета специализированных программ «ГРВ-Диаграмма» и «ГРВ-Процессор» мы получали 56 числовых параметров по каждой серии измерений.

На первом этапе были сформированы две группы: контрольная, включающая 35 человек (практически здоровые люди – курсанты факультетов подготовки врачей Военно-медицинской академии и медицинские сестры ряда клиник) и основная, состоящая из 115 человек (больные с хронической хирургической патологией органов брюшной полости. При этом выявлялись различия не только в показателях, получаемых с помощью метода ГРВ между группами здоровых и больных людей, но и оценивалось влияние на величины этих показателей некоторых факторов (пола, возраста, основной патологии). Все пациенты были разделены на три группы по степени тяжести их состояния, согласно принятой в военно-лечебных учреждениях Вооруженных Сил Российской Федерации системе оценки.

I-ю группу составили пациенты, не имевшие тяжелых сопутствующих заболеваний. Во II-ю группу вошли пациенты, соматические заболевания которых находились в стадии компенсации. III-я группа состояла из пациентов, соматические заболевания которых находились в стадии декомпенсации. Общая характеристика больных представлена в табл. 1.

Сопоставление показателей ГРВ-грамм проводили с данными, полученными в ходе клинического и инструментального (интегральная реография тела, спирография) обследования больных. Для выявления зависимости между ними использовали многофакторный регрессионный и корреляционный анализы.

Результаты исследования

При проведении сравнительного анализа данных, полученных в ходе обследования методом ГРВ пациентов основной и контрольной групп, были выявлены статистически достоверные различия показателей ГРВ-грамм ($p < 0,05$) пациентов и контрольной группы. Эти различия были выявлены для основных ГРВ характеристик [2]: «площадь», «яркость», «плотность свечения», а также «изрезанность наружного контура» ГРВ-граммы.

Кроме имевшейся патологии на показатели ГРВ влияли и другие факторы, такие как возраст и пол пациентов. При анализе ГРВ-грамм, обработанных в программе «ГРВ-Диаграмма», отмечено повышение величин всех параметров с возрастом. Наиболее высокие цифры этих показателей выявлялись у пациентов старше 60 лет.

При анализе всей совокупности показателей программы «ГРВ-Диаграмма» нами отмечено, что только показатель «JS» [3] достоверно изменяется во всех трех возрастных категориях. Полученные различия говорят о необходимости определения возрастной нормы показателей ГРВ-грамм.

Уже на этом этапе работы наиболее информативными нами были признаны следующие показатели ГРВ-грамм: «JS» программы «ГРВ-Диаграмма», параметры «площади» (общая и, в большей степени, нормализованная площадь), «общей плотности» и «средней яркости» свечения, а также неравномерности наружного контура ГРВ-граммы (фрактальность и, в большей степени, коэффициент формы) программы «ГРВ-Процессор». Индивидуальность и вариабельность показателей ГРВ-грамм, на наш взгляд, говорит о необходимости рассматривать различия этих показателей в равноценных группах, т.е. с учетом множества входящих факторов, каждый из которых повышает специфичность метода.

Таким образом, в результате проведенной на данном этапе работы можно сделать вывод, что показатели ГРВ-грамм у больных с абдоминальной патологией имеют статистически значимые отличия от ГРВ показателей здоровых людей. В то

же время ГРВ-граммы очень индивидуальны и зависят не только от патологических изменений в организме, но и от пола, возраста, а также, вероятно, других факторов. Все это при данном уровне разработки метода позволяет рассматривать его пригодным не столько для диагностики заболеваний, сколько для динамического контроля изменения биоэнергетического статуса пациента.

Оценка возможности использования метода ГРВ для мониторинга функционального состояния пациентов в послеоперационном периоде

На этом этапе исследования была проанализирована динамика параметров ГРВ-грамм в послеоперационном периоде после различных плановых оперативных вмешательств. Установлено, что наиболее выраженные изменения показателей ГРВ-грамм, происходили в течение первых суток после операции. При этом было выявлено достоверное повышение большинства параметров, полученных при обработке в программе «ГРВ-Диаграмма» по сравнению с исходным уровнем при регистрации их в первый час после перенесенного оперативного вмешательства. Особенно это затрагивало основные параметры площади свечения. Происходило увеличение показателя «JS». Однако достоверные изменения установлены только для режима регистрации ГРВ-грамм «без фильтра».

Подобным образом изменялись показатели «нормализованная» и «общая площадь» программы «ГРВ-Процессор», также характер внешнего контура ГРВ-граммы, что проявлялось увеличением «фрактальности» и уменьшением «коэффициента формы». Достоверных изменений «яркости свечения» не обнаружено.

Полагаем, что такая динамика параметров ГРВ-грамм связана с напряженностью функционирования всех систем организма в ответ на операционную травму, т.е. с операционным стрессом.

С целью изучения возможности использования метода ГРВ для оценки выраженности операционного стресса была проанализирована динамика

показателей ГРВ-грамм, полученных в течение первого часа после различных по степени травматичности оперативных вмешательств. Использовали наиболее информативные показатели площади свечения ГРВ-грамм – «JS» и «нормализованная площадь».

При оценке данных наиболее выраженные изменения отмечались у больных после операций на желчном пузыре, желчевыводящих путях и желудке, выполненных традиционным лапаротомическим доступом. Это связано с тем, что в этих группах было наибольшее количество расширенных оперативных вмешательств. Изменения параметров площади ГРВ-грамм при операциях на толстой кишке оказались менее выраженными. При лапароскопических операциях изменения этих показателей были еще меньше.

Таким образом, сложилось впечатление, что метод ГРВ может быть использован для оценки выраженности операционного стресса.

Анализ динамики параметров ГРВ-грамм в раннем послеоперационном периоде при однотипных операциях в разных подгруппах показал, что изменения были более выражены у пациентов I-ой подгруппы (без тяжелых сопутствующих заболеваний). Наименее выраженная реакция со стороны параметров «площади» ГРИ в ответ на операцию отмечена у пациентов с высоким баллом по тяжести состояния (III-я подгруппа). Представленная динамика показателей ГРВ-грамм у пациентов, имевших исходно высокий балл тяжести соматического состояния, вероятно, отражает снижение компенсаторных возможностей реагирования организма и его реактивности. При этом после более объемных и длительных операций изменения параметров площади ГРВ-грамм становились даже разнонаправленными (рис. 1, 2). Полагаем, что такое уменьшение показателей «площади свечения» после перенесенных объемных оперативных вмешательств характеризует состояние дистресса и является отражением низких функциональных резервов организма. Вероятно, следствием этого и явились более длительный срок нахождения таких пациентов в отделении реанимации и интенсивной терапии (ОРИТ) и в стационаре вообще, а также большая частота

развития у них осложнений и летальных исходов в раннем послеоперационном периоде.

Таким образом, на основании полученных данных можно сделать вывод о том, что метод ГРВ позволяет проводить мониторинг функционального состояния пациентов в послеоперационном периоде.

Выводы

Показатели ГРВ-грамм статистически достоверно различаются у практически здоровых людей и больных с хронической абдоминальной хирургической патологией ($p < 0,05$).

Параметры ГРВ-грамм связаны с функциональным статусом организма и в определенной степени отражают тяжесть соматического состояния больных с абдоминальной хирургической патологией.

Наиболее информативными показателями метода ГРВ являются «интегральная площадь свечения» программы «ГРВ-Диаграмма», «общая» и «нормализованная площади», «общая плотность», «средняя яркость», а также неравномерность (изрезанность) наружного контура («фрактальность» и «коэффициент формы»).

Более рациональным режимом регистрации ГРВ-грамм следует считать режим «без фильтра». Режим «с фильтром» сохраняет в целом направленность изменений, но при этом делает их менее выраженными и зачастую недостоверными, что снижает чувствительность метода.

Параметры ГРВ-грамм индивидуальны и зависят от пола, возраста пациентов, что говорит о необходимости определения диапазона их норм.

Показатели ГРВ-грамм достоверно изменяются в ответ на операционную травму, а их динамика зависит от тяжести соматического состояния пациента, что позволяет использовать данный метод для решения задач функционального мониторинга пациентов в послеоперационном периоде, а также для оценки выраженности операционного стресса.

Показатель ГРВ «Уровень толерантности» может использоваться в качестве инструмента объективной оценки личностной тревожности пациентов перед хирургическими оперативными вмешательствами.

Поступила в редакцию

Рекомендована кафедрой
проектирования компьютерных
систем

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Коротков К.Г.* Физические механизмы и принципы построения систем ГРВ Биоэлектрографии. // Изв. вузов. Приборостроение. 2005. Т. 48, №10.
2. *Коротков К. Г.* Основы ГРВ Биоэлектрографии. Л.: Изд-во СПбГУИТМО, 2001. 261с.
3. *Сенькин В.В., Ушаков И.Б., Бубеев Ю.А., Степанов В.К.* Опыт и перспективы метода ГРВ биоэлектрографии в решении задач военной и космической медицины // Изв. вузов. Приборостроение. 2005. Т. 48, №10.

Таблица 1. Общая характеристика больных

Показатели	Группы		
	I	II	III
Количество больных	22	46	28
Мужчин	9	13	14
Женщин	13	33	14
Соматическое состояние больного, балл	1	2	3-4
Средний возраст, лет	32,1±2,6**, ***	53,2±1,4*, ***	62,9±2,4*, **
Масса тела, кг	76,5±3,5	77,5±2,2	74,5±2,4
Рост, см	167,5±2,4	165,7±1,2	165,9±1,2

- – $p < 0,05$ по сравнению с группой I, ** – $p < 0,05$ по сравнению с группой II, *** – $p < 0,05$ по сравнению с группой III.

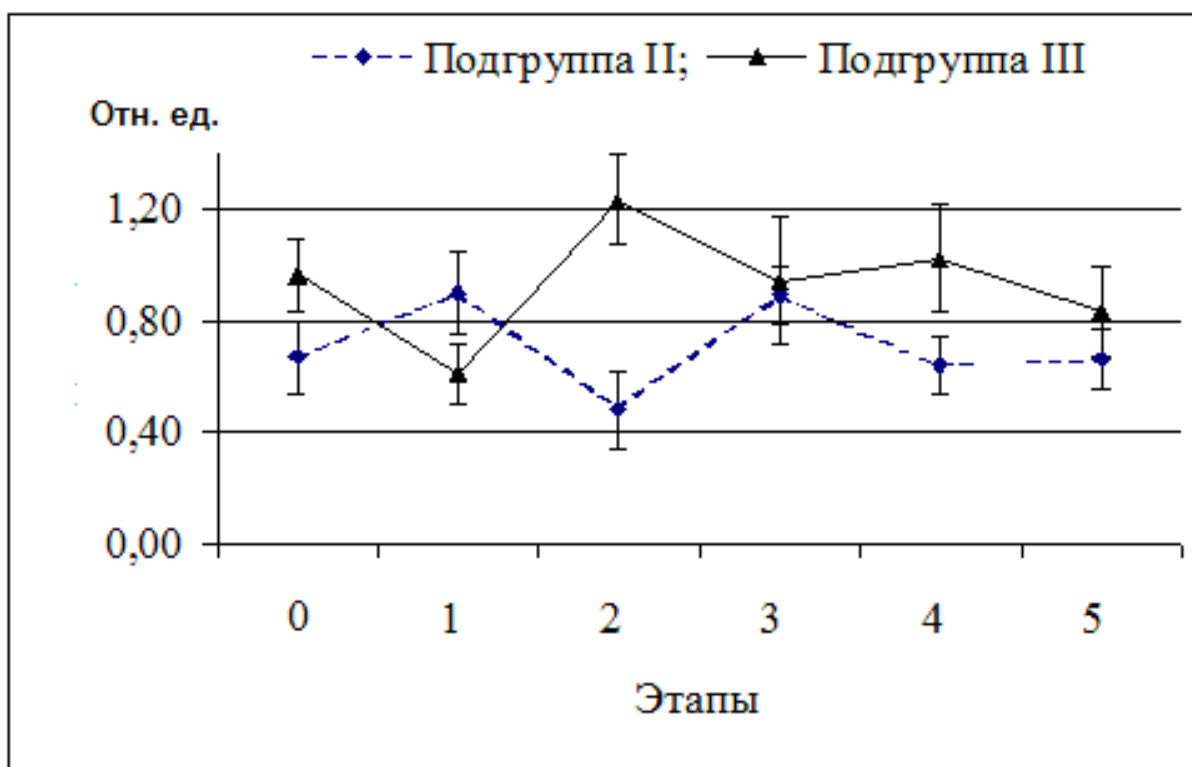


Рисунок 1. Динамика показателя «JS» на правой руке пациентов после операций на желудке (режим регистрации «без фильтра») Стадии: 0 – до операции; 1 – через 1 час после операции; 2-5 – дни после операции.

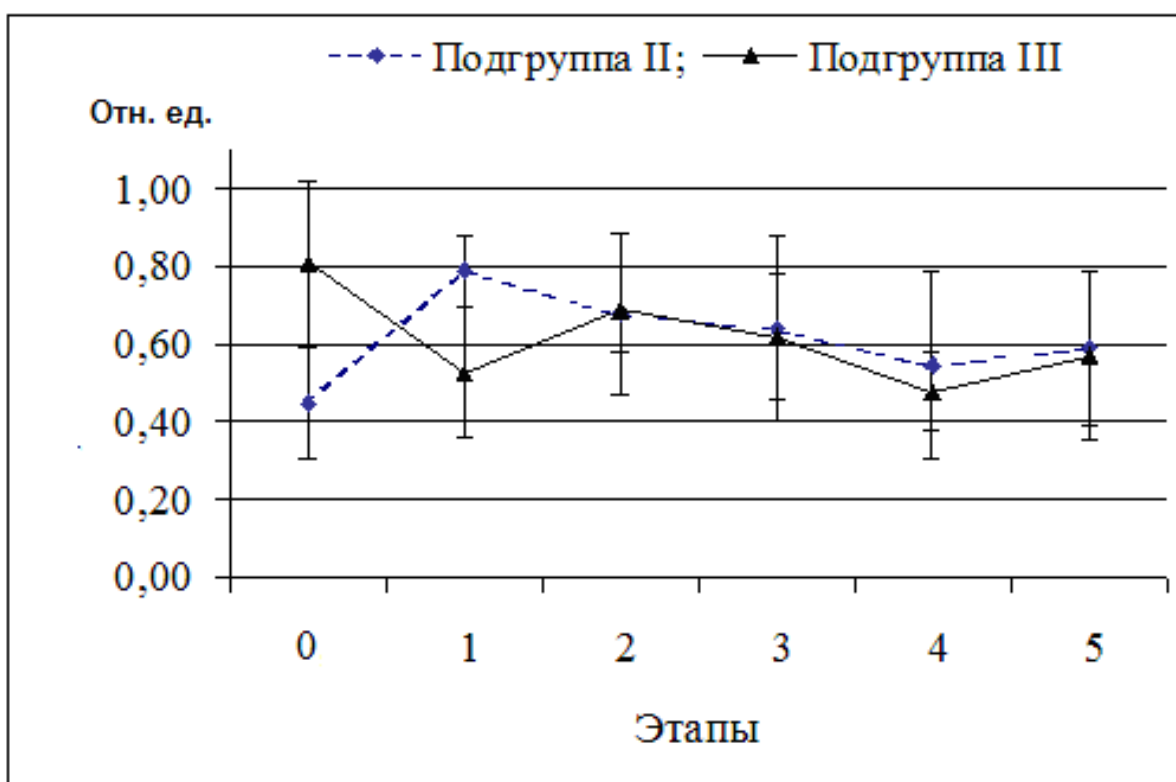


Рисунок 2. Динамика показателя «JS» на правой руке пациентов после операций на кишечнике (режим регистрации «без фильтра»). Стадии: 0 – до операции; 1 – через 1 час после операции; 2-5 – дни после операции.

К. Г. КОРОТКОВ¹, В. А. НЕЧАЕВ¹, Е. Н. ПЕТРОВА¹, А. ВАЙНШЕЛБОЙМ²,
Д. Г. КОРЕНЮГИН³, В. К. ШИГАЛЕВ³

¹ Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики. ² Aveda Corporation. Minneapolis, MN, USA.

³ Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ГРВ-СВЕЧЕНИЯ ВОЛОС

Исследовано влияние размеров и формы пучка волос на параметры стимулированного свечения волос человека в электрическом поле. Выдвинута гипотеза о превалирующей роли в этом процессе емкостной проводимости по структурам биологической ткани волоса.

Введение

Во многих исследованиях было показано [1,2], что характеристики газового разряда вокруг биологических объектов несут информацию о физико-химических свойствах объекта. Развитые в этих работах методические принципы газоразрядной визуализации (ГРВ) были использованы для исследования стимулированного свечения волос в электрическом поле.

Исследование физико-химических характеристик человеческого волоса является актуальной задачей как с точки зрения оценки состояния здоровья человека через микроэлементный состав волос [3,4], так и при оценке состояния волос в косметологии [5]. Эмпирически известно, что свойства волос меняются в зависимости от состояния человека, уровня здоровья (в частности, стрессовых нагрузок) и состояния окружающей среды [4]. Однако, связь физических свойств волос с состоянием здоровья человека малоизученна, в современной косметологии отсутствуют объективные методы индивидуального подбора и оценки влияния косметических препаратов, а существующие методы

исследования волос [5] требуют дорогостоящего оборудования, проведения анализа в специализированных лабораториях и длительного времени. Поэтому для разработчиков и пользователей косметической продукции принципиально важно развитие новых методов оценки состояния волос, позволяющих в реальном масштабе времени наблюдать влияние на волосы различных лечебных и косметических воздействий и препаратов.

Таким образом, развитие современных методов анализа состояния волос открывает новые перспективы исследований и практических применений в медицине и косметологии, в частности, для разработки и внедрения индивидуализированных косметических и лечебных препаратов. Полученные результаты вызывают большой интерес у специалистов отрасли, о чем свидетельствует внимание к презентациям по данной теме на международных конгрессах [6,7]. Настоящая работа проводится в рамках совместного Российско-Американского проекта.

Задачи исследований

Разработка методики съемки и обработки газоразрядных изображений волос, выбор наиболее информативных параметров газоразрядного свечения волос, с целью создания экспресс-метода оценки состояния волос и влияния на них различных факторов.

Методика исследований

В экспериментах по исследованию газоразрядного свечения человеческих волос использовался специализированный программно-аппаратный ГРВ комплекс [8] со следующими параметрами: режим съемки – динамический; экспозиция напряжения – 5 секунд; интервал между экспозициями – 10 секунд; амплитуда электрических импульсов – 3 кВ; длительность импульса – 10 микросекунд; частота следования импульсов – 1 кГц; частота следования кадров – 20 кадров в секунду.

Экспериментальная установка, предназначенная для исследования газоразрядного свечения образца волос (рисунок 1) позволяет закрепить пучок

волос 1 в плоскости, перпендикулярной электроду ГРВ-камеры 6. Металлический стержень 4, контактирующий с волосами в тефлоновой трубке 2, обеспечивает заземление образца. Электрические импульсы от источника напряжения ГРВ-камеры 9 подаются на проводящий слой 7, покрывающий оптическое окно 6 снизу. Вокруг пучка волос формируется электромагнитное поле. Под действием поля происходит эмиссия заряженных частиц и развивается скользящий газовый разряд 8. Пространственное распределение свечения разряда преобразуется в видеосигналы и переводится в цифровой формат. Поле излучения разряда описывается набором параметров свечения.

Для исследований использовались мужские и женские волосы, не подвергавшиеся химическим воздействиям (окрашивание, осветление, химическая завивка). Волосы срезались с затылочной части головы испытуемых на расстоянии около 20 мм от кожи. Пучки волос помещались в трубку из политетрафторэтилена длиной 28 мм и диаметром 3 мм с боковым разрезом на расстоянии 20 мм от края трубки таким образом, чтобы волосы выступали на 20 мм из бокового разреза и на 4 мм с торца трубки. На нижний край тефлоновой трубки с волосами надевалась термоусадочная трубочка длиной 20 мм, которая сжимала волосы под действием нагрева, что позволяло зафиксировать их положение. Затем волосы ровно срезались в плоскости, перпендикулярной трубке, на расстоянии 2 мм от края тефлоновой трубки и закреплялись на расстоянии 2 мм над электродом ГРВ камеры. В схеме эксперимента, приведенной на рисунке 1, часть исследуемого пучка волос находится внутри тефлоновой трубки, а другая часть пучка (внешняя) выступает из бокового разреза трубки. Длина внутренней части пучка во всех экспериментах фиксирована, а внешняя часть пучка используется для различных воздействий и нанесения препаратов, и ее длина может меняться.

Статистический анализ данных производился в программах “GDV SciLab” и “Excel”. В программе “GDV SciLab” рассчитывались следующие параметры газоразрядных изображений волос: площадь свечения (количество пикселей с ненулевой интенсивностью свечения) и интенсивность свечения (в

относительных единицах с присваиваемыми значениями от 0 для абсолютно черного до 255 для абсолютно белого). Кроме того, был введен дополнительный параметр интегральной интенсивности, рассчитываемый как произведение относительной площади на интенсивность свечения. Под относительной площадью понимается отношение площади свечения в каждой экспериментальной точке к значению площади свечения в первой точке. Для получения одной экспериментальной точки в целях статистической обработки снималось 10 серий снимков, и значения рассчитанных параметров усреднялись по 1000 кадрам. Погрешность всех измерений определялась величиной доверительного интервала с достоверностью $p > 95 \%$.

Результаты исследований

1. Распределение параметров свечения. При оценке результатов исследований необходимо знать характер статистического распределения параметров свечения волос, для чего был проведен специальный эксперимент. В ходе данного эксперимента на одном пучке волос было снято 5 серий снимков по 600 кадров в каждом (всего 3000 точек). Статистический анализ данных, проведенный в программе “Statistica”, показал, что отклонение медианы от среднего значения параметров свечения составило для площади свечения в среднем 3 %, а для интенсивности свечения – 0,2 %. Гистограмма распределения интенсивности свечения волос по выборке из 3000 кадров (значений) представлена на рисунке 2. График на рисунке 2 соответствует нормальному распределению по Гауссу. Это свидетельствует о том, что получаемые данные могут быть описаны с помощью среднего значения и стандартного отклонения, а погрешность измерений – доверительным интервалом.

В ходе проведения экспериментов было установлено, что параметры свечения волос зависят от веса, формы и длины исследуемого пучка. Поэтому было исследовано влияние этих характеристик на параметры свечения волос.

2. Влияние веса пучка на параметры свечения. На рисунке 3 представлена диаграмма усредненных по 10 сериям снимков (по 100 кадров в каждой) значений

интегральной интенсивности свечения волос в зависимости от веса пучка. Для эксперимента были использованы образцы одних и тех же волос длиной 5 см, которые были разделены на четыре пучка весом 0,3 г, 0,35 г, 0,4 г и 0,45 г. Из полученных результатов видно, что интегральная интенсивность свечения возрастает при увеличении веса и, соответственно, плотности волос в пучке. Также при более плотном пучке возрастает воспроизводимость данных, что является важным критерием, если учитывать высокую биологическую вариабельность волос [4].

3. Влияние формы и длины выступающей части пучка волос на параметры свечения. В ходе проведенной работы был проведен ряд экспериментов по выявлению зависимости параметров свечения волос от конфигурации выступающей части пучка волос. В экспериментах было опробовано две формы верхней части пучка волос – в виде “кисточки” и “петли”, как показано на рисунке 1-б и 1-в. Результаты одного из экспериментов, проведенных при уменьшении длины выступающей части пучка в форме “петли”, представлены в виде гистограммы зависимости интегральной интенсивности свечения от длины пучка на рисунке 4. Как видно из рисунка, при уменьшении длины пучка параметры свечения увеличиваются. Аналогичные данные были получены при проведении экспериментов с пучком волос в форме “кисточки”, однако изменение сигнала сильно зависит от свойств исследуемых волос. Было также установлено, что уменьшение параметров свечения при разрезании “петли” для разных образцов волос составляет до 50 %.

Контрольные эксперименты были проведены с тест-объектом в виде лицендрата (лицендрат – пучок медных проволок, покрытых тефлоновыми оболочками). Лицендрат длиной 70 мм помещался в тефлоновую трубку аналогично пучку волос в виде “кисточки” и сжимался термоусадочной трубкой. Результаты экспериментов показали, что изменение длины лицендрата не влияет на параметры его свечения. Кроме того, как было показано ранее [6,7], изменение влажности и температуры в лабораторных условиях не оказывает влияния на характеристики свечения.

Обсуждение

Приведенные экспериментальные данные позволяют сделать вывод о том, что наблюдаемый сигнал свечения обусловлен протеканием электронных токов по биологическим тканям волоса, о чем свидетельствует возрастание сигнала с увеличением плотности пучка (рисунок 3). Известно, что сопротивление, измеренное по наружной поверхности волоса, составляет $10^6\text{--}10^{10}$ Ом*м [9]. С учетом сопротивления диэлектрического слоя оптической камеры это обеспечивает пиковую величину протекающего тока $10^{-5} - 10^{-8}$ А, что существенно меньше величин, наблюдаемых на опыте. В то же время, описанное выше изменение величин сигнала в зависимости от размера и формы верхней частей пучка относительно точки заземления (рисунок 4), свидетельствует о превалирующей роли емкостных параметров структур волоса в протекании электрического тока. Экспериментально наблюдаемые эффекты обусловлены перераспределением емкостных токов в соответствии с законом Кирхгофа [10]. Полученные данные позволяют выдвинуть гипотезу о протекании электронных токов по белковым структурам внутренней части волоса путем прыжковой проводимости, аналогично механизмам, развитым в ряде работ [11,12]. Данная гипотеза требует дальнейшего обоснования.

Выводы

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1. Разработана методика изучения газоразрядного свечения волос под действием различных факторов.
2. Распределение параметров свечения волос является нормальным, что позволяет описывать полученные результаты средним значением параметра и доверительным интервалом.
3. Выдвинута гипотеза о протекании электронных токов по белковым структурам внутренней части волоса путем прыжковой проводимости.

4. Разработанный подход открывает перспективы практического применения в дерматологии и косметологии для экспресс-анализа реакции волос на воздействие различных процедур и препаратов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Коротков К. Г.* Основы ГРВ Биоэлектрографии. Л.: Изд-во СПбГУИТМО. 2001. 360 с.
2. *Korotkov K., Krizhanovsky E., Borisova M., Korotkin D., Hayes M., Matravets P., Komoh K. S., Peterson P., Shiozawa K., Vainshelboim A.* Time dynamics of the gas discharge around drops of liquids // J. Appl. Phys. 2004, Vol.95, No 7. P. 3334-3338.
3. <http://www.promedicine.ru>
4. *Скальный А.В., Быков А.Т.* Эколого-физиологические аспекты применения макро- и микроэлементов в восстановительной медицине. Оренбург: РИК ГОУ ОГУ, 2003. 198 с.
5. *Clarence R. Robbins.* Chemical and Physical Behavior of Human Hair. Springer-Verlag, New York. 1994.
6. Podium Proceedings. IFSCC International Conference. Florence: CEC Editor. September 2005. p. 137-171.
7. *Vainshelboim A. L., Hayes M. T., Korotkov K. G., Momoh K. S.* GDV Technology Applications for Cosmetic Sciences. IEEE 18th Symposium on Computer-Based Medical Systems (CBMS 2005). Dublin, Ireland. June 2005.
8. *Коротков К. Г.* Принципы компьютерной обработки изображений. ГРВ электрография. СПб: СПбГУИТМО. 2004. 120 с.
9. Удельное электрическое сопротивление волос при экспертизе их сходства / *З.М. Мамедов* // Судебно медицинская экспертиза. 1986. № 4. С. 45-47.
10. *Савельев И.В.* Курс общей физики. М: Наука. 1982. Том 2. 496 с.
11. *Рубин А. Б.* Биофизика. М: Наука. 2004. Том 1. 463 с.
12. Nobel Symposium in Chemistry: Conjugated Polymers and Related Materials: The Interconnection of Chemical and Electronic Structure / *W. R. Salaneck, I. Lundstrom, B. Ranby* // Oxford: Oxford Sci. 1993.

Рекомендована кафедрой
проектирования компьютерных
систем

Поступила в редакцию

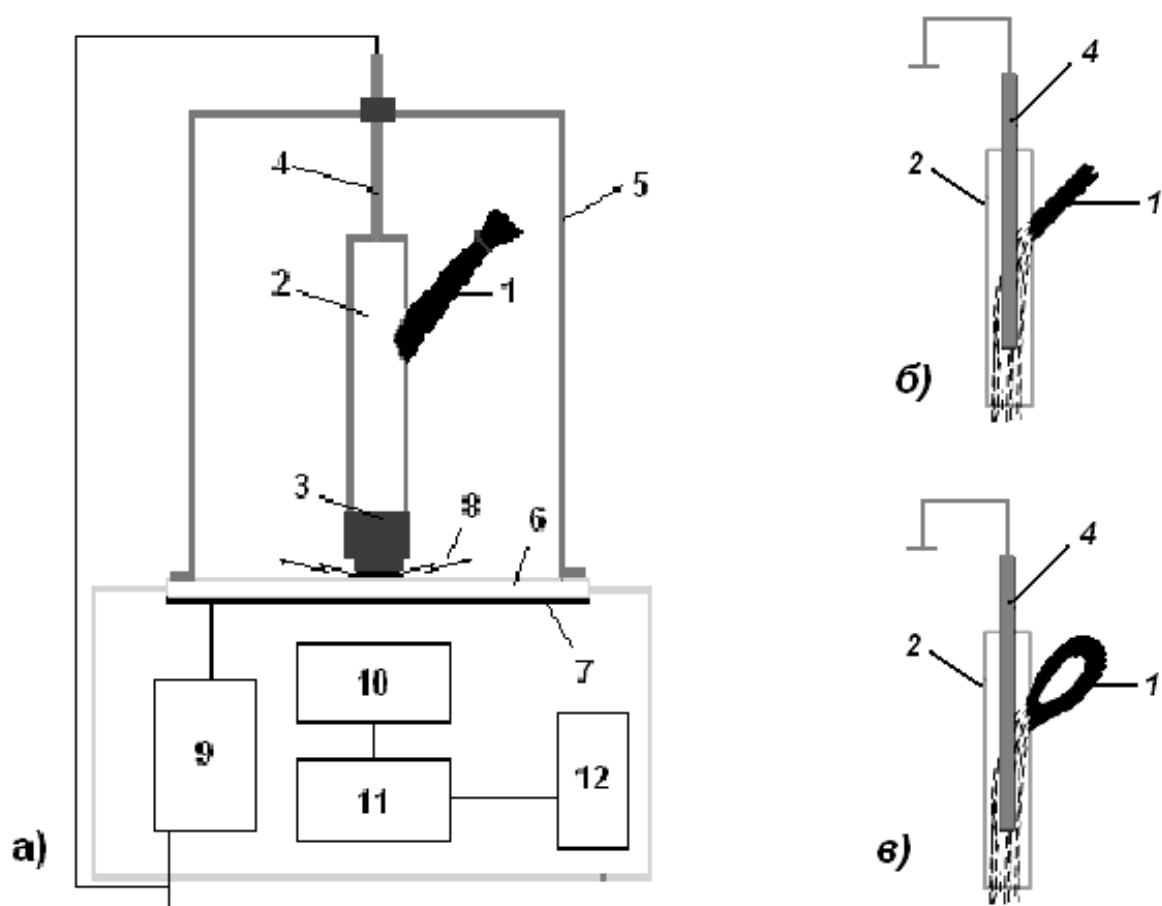


Рисунок 1. Схема проведения эксперимента.

а – схема экспериментальной установки, б – размещение внешней части волос в форме “кисточки”; в – размещение внешней части волос в форме “петли”. На рисунке: 1 – исследуемый пучок волос, 2 – политетрафторэтиленовая трубка, 3 – термоусадочная трубка, 4 – заземленный металлический стержень, 5 – светозащитный экран, 6 – прозрачная диэлектрическая пластина, 7 – прозрачное токопроводящее покрытие, 8 – скользящий газовый разряд, 9 – высоковольтный импульсный генератор, 10 – оптическая система с ПЗС-камерой, 11 – блок преобразования сигналов, 12 – компьютер.

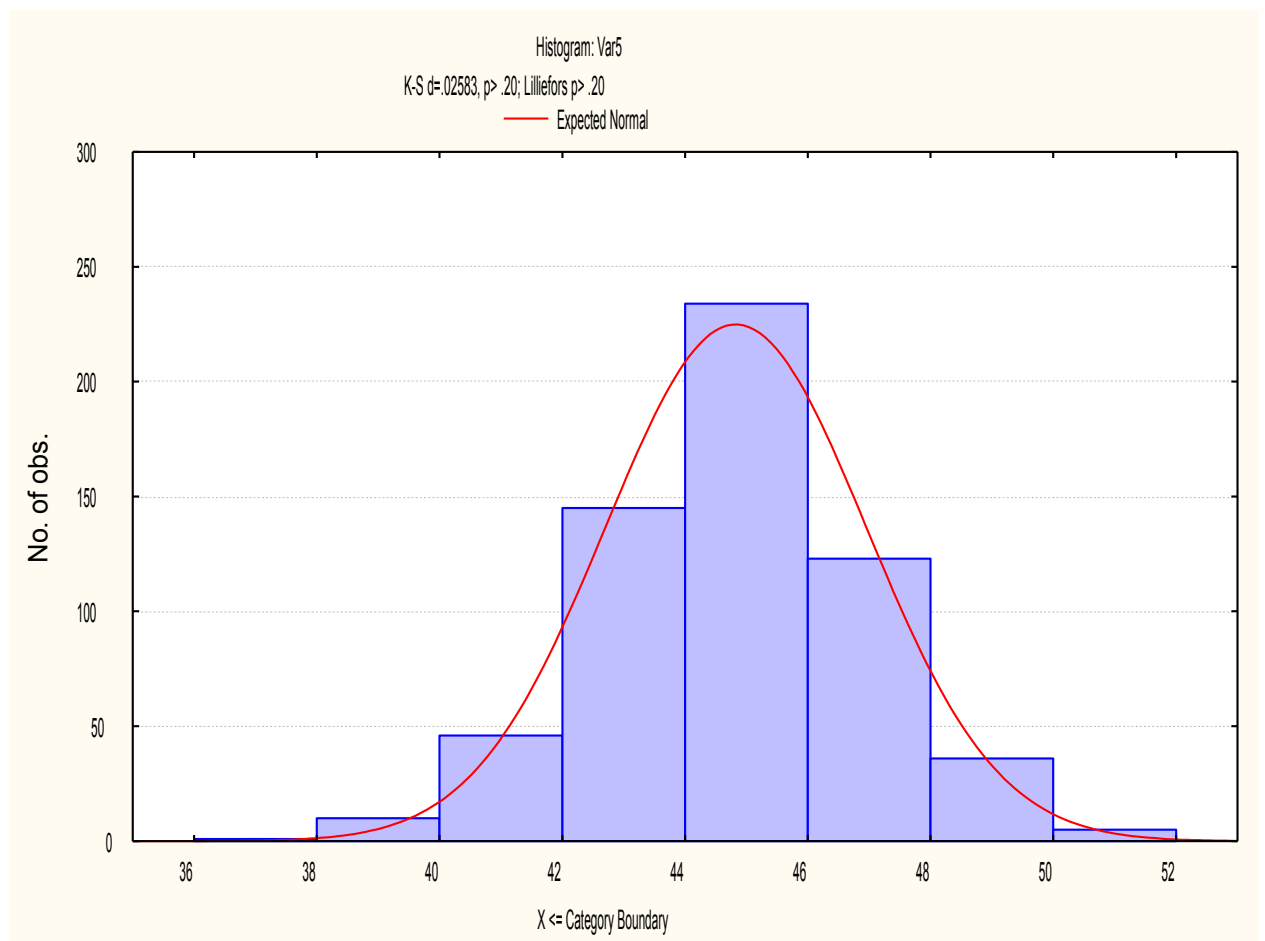


Рисунок 2. Гистограмма распределения интенсивности свечения волос, график соответствует распределению по Гауссу.

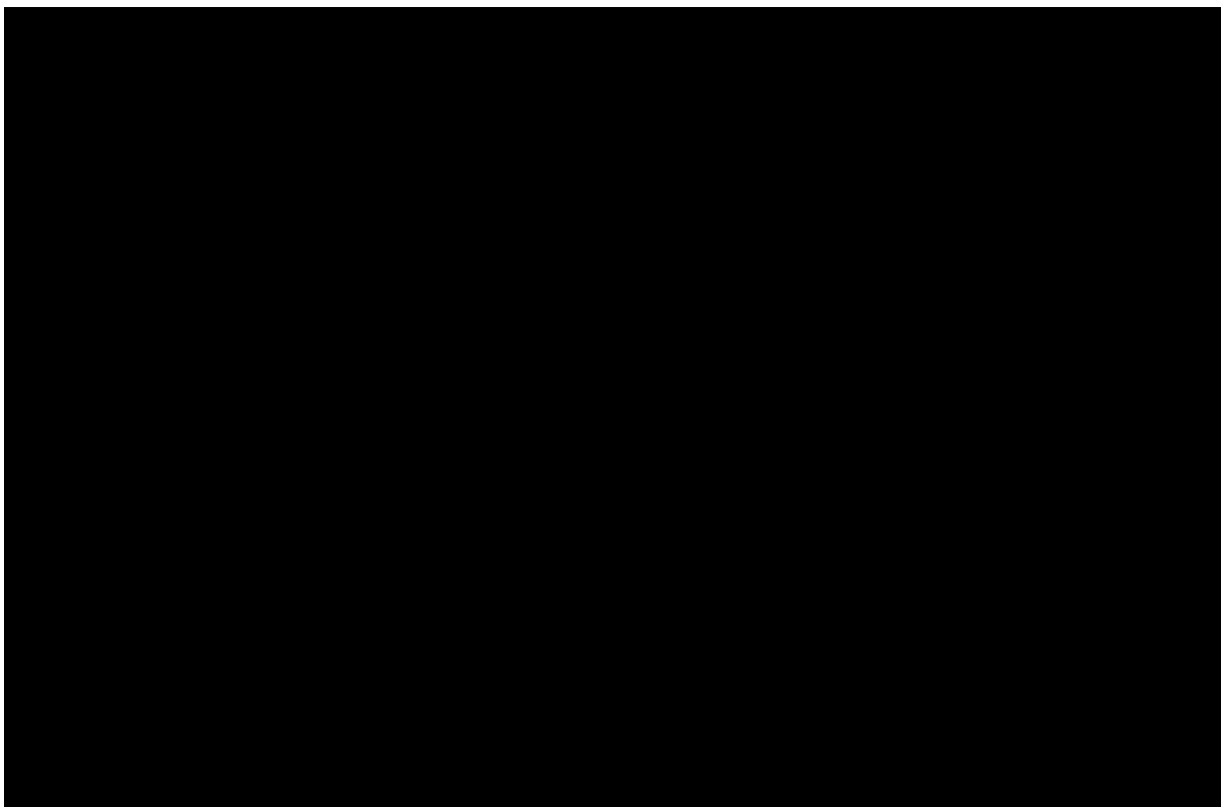


Рисунок 3. Гистограмма площади свечения волос в зависимости от веса пучка (данные, отмеченные *, соответствуют повторным экспериментам). Погрешности измерений на гистограммах определены величинами доверительного интервала с $p > 95\%$

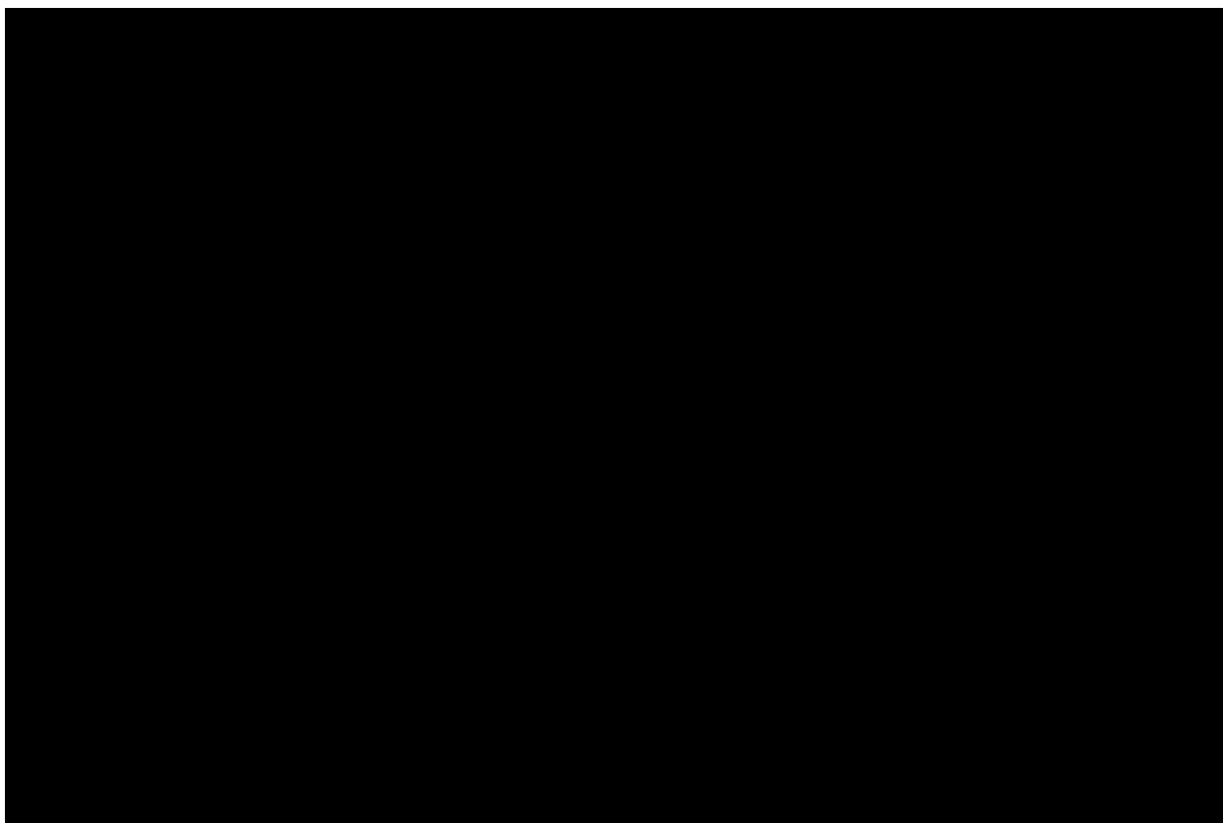


Рисунок 4. Гистограмма зависимости интегральной интенсивности свечения волос, помещенных в тефлоновую трубку в форме “петли”, от длины пучка.

А. Ю. ГРИШЕНЦЕВ¹, К. Г. КОРОТКОВ¹, Е. Н. ПЕТРОВА¹

¹ Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики.

ЭЛЕКТРОФОТОННОЕ ВОЗБУЖДЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ ПОЛИМЕРОВ ВОЛОС ЧЕЛОВЕКА ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ.

Исследована динамика изменения параметров свечения волос человека под действием электромагнитного поля. Представлена модель электронного возбуждения атомов биологических полимеров на примере молекул волос человека.

Введение

Изучение волос под действием различных факторов является актуальной задачей, в частности для дерматологии и косметологии [1-3]. В то же время, в большинстве литературных источников волосы рассматриваются как инертная ткань, состоящая из кератинизированных клеток, не имеющих биологической активности [3]. Результаты экспериментов показали, что электрооптические характеристики волос имеют временную динамику и реагируют на воздействия электромагнитного поля и газового разряда [4]. В данной статье рассматривается исследование волос с использованием техники газоразрядной визуализации (ГРВ), заключающейся в эмиссии заряженных частиц и оптическом излучении биообъекта, вызванных электромагнитным полем и усиленным газовым разрядом с визуализацией за счет компьютерной обработки данных.

Задачи исследований

Изучение временной динамики изменения параметров стимулированной эмиссии электропроводящих свойств волос человека под действием электрического поля.

Построение концептуальной модели динамики изменения параметров свечения волос в электромагнитном поле на базе модели туннельной проводимости биологических полимеров.

Методика исследований

Для исследований использовались мужские и женские волосы, не подвергавшиеся химическим воздействиям (окрашивание, осветление, химическая завивка). Волосы срезались с затылочной части головы испытуемых на расстоянии около 2 см от кожи. Образцы волос, измерения на которых проводились сразу после среза, были названы «свежими». Волосы, для которых временной интервал между срезом и измерениями превышал 20 дней, были названы «выдержанными».

Экспериментальная установка, предназначенная для исследования газоразрядного свечения образца волос, и процесс подготовки образцов волос описаны в [1]. В экспериментах использовались следующие параметры работы программно-аппаратного ГРВ комплекса: режим съемки – динамический; экспозиция напряжения – 5 секунд; интервал между экспозициями – 1 минута; амплитуда электрических импульсов – 3 кВ; длительность импульса – 10 микросекунд; частота следования импульсов – 1 кГц; частота следования кадров – 20 кадров в секунду.

При проведении расчетов анализировалась динамика изменения параметров, описывающих газоразрядное свечение волос: площади и интенсивности свечения [1, 5]. Статистический анализ данных производился в программах “GDV SciLab”, “Excel” и “Statistica”. Для получения одной экспериментальной точки снималась серия снимков длительностью 5 секунд (100 bmp картинок), и значения

рассчитанных параметров усреднялись по 100 кадрам. Погрешность всех измерений определялась величиной доверительного интервала с достоверностью $p > 95 \%$.

Результаты исследований

Было исследовано более 20 образцов волос мужчин и женщин в возрасте 17 – 55 лет. В результате исследований было установлено, что наблюдается динамика изменения параметров стимулированного свечения волос под воздействием процедуры измерения. На рисунке 1 представлены графики динамики изменения интенсивности газоразрядного свечения «свежих» образцов волос в течение нескольких дней. Каждая экспериментальная точка на графике соответствует усредненному по одной серии (5 секунд с частотой 20 кадров в секунду – 100 bmp картинок) значению интенсивности свечения волос. 5 экспериментальных точек, соединенных линиями, соответствуют пяти сериям измерений, снятых с интервалом 1 мин. Время проведения каждого эксперимента приведено на графике.

Представленные на графиках динамические изменения являются характерными для большинства исследованных «свежих» образцов волос. На графиках наблюдается резкий спад исследуемых параметров в первые часы после среза волос, однако после приложения к волосам электромагнитного поля через определенный временной интервал, наблюдается увеличение регистрируемого сигнала. После каждой паузы в измерениях сигнал снижается, однако под влиянием процесса измерения он возрастает до величины, характерной для каждого образца волос. Аналогичные результаты были получены при исследовании волос оптико-корреляционным методом лазерной спекл-интерферометрии [6].

Также было установлено, что динамика параметров стимулированного свечения волос зависят от времени, прошедшего после среза. Чем больше времени проходит после среза волос, тем меньше изменение параметров свечения

волос под действием электрического поля и газового разряда. Сравнительный график динамики изменения интенсивности свечения волос под действием электрического поля для «свежих» и «выдержанных» образцов волос приведен на рисунке 2.

Моделирование электрофотонного возбуждения молекул волос

Приведенные экспериментальные данные позволяют выдвинуть гипотезу об электрофотонном возбуждении биологических полимеров волос человека под действием электромагнитного поля. Пучок волос, исследуемый методом ГРВ, подвергается воздействию переменного электромагнитного поля напряженностью 0.6 – 2.5 МВ/м и электронно-фотонного излучения в видимом и УФ диапазонах в момент возникновения лавинного разряда. В результате молекулы биологических полимеров, входящие в состав волоса человека, претерпевают трансформацию электронной энергии, которая в соответствии с [7], связана не только с переносом электрона, но и с миграцией энергии электронного возбуждения, которая не сопровождается отрывом электрона от молекулы донора.

Наличие легирующих примесей в молекулах биологических полимеров волос обеспечивает возникновение туннельного эффекта. При концентрациях $10^{25} - 10^{25}$ атомов на m^3 примесные состояния в молекулах перестают быть изолированными друг от друга [8]. Они начинают перекрываться и сливаться с зоной проводимости или валентной зоной; уровень Ферми в таком случае фактически смещается в одну из зон.

Рассмотрим случай, когда электрон находится в области I (рис. 3), где его энергия E меньше, чем энергия потенциального барьера U_0 , отделяющего область I от области II. Определим вероятность преодоления электроном области II, т.е. преодоления потенциального барьера шириной a . Согласно классической физике эта вероятность равна нулю, так как $E < U_0$ и в области II кинетическая энергия электрона должна быть отрицательна, что невозможно. В квантовой механике движение электрона описывается волновой функцией $\Psi(x,t)$,

которая, подобно плоской волне, падающей на потенциальный барьер U_0 в точке $x = x_0$, частично отражается, а частично проходит сквозь него [7].

Стационарные уравнения Шредингера для областей I и II:

$$-\frac{\hbar}{2m} \frac{d^2\Psi_1(x)}{dx^2} = E\Psi_1(x), \quad -\frac{\hbar}{2m} \frac{d^2\Psi_2(x)}{dx^2} = (E - U_0)\Psi_2(x), \quad (1)$$

где $\Psi_1(x)$ и $\Psi_2(x)$ определяют волновую функцию стационарного состояния с энергией E , m – масса электрона, x – координата. Волновые векторы k_1 и k_2 определим как:

$$k_1 = \sqrt{2mE/\hbar} = mV_1/\hbar = 2\pi/\lambda_1, \quad k_2 = \sqrt{2m(E - U_0)/\hbar} = mV_2/\hbar = 2\pi/\lambda_2, \quad (2)$$

где λ_1 и λ_2 — длины волн в областях I и II, V – скорость электрона.

С учетом (2) система (1) будет иметь вид:

$$\frac{d^2\Psi_1(x)}{dx^2} + k_1^2\Psi_1(x) = 0, \quad \frac{d^2\Psi_2(x)}{dx^2} + k_2^2\Psi_2(x) = 0. \quad (3)$$

В общем виде для областей I и II каждая из функций $\Psi_1(x)$ и $\Psi_2(x)$ может быть представлена в виде суммы экспонент $\exp(\pm ik_1x)$, $\exp(\pm ik_2x)$. Присоединив к каждому из этих частных стационарных временной множитель $\exp(-iEt/\hbar) = \exp(-i\omega t)$, получим $\exp[i(xk - \omega t)]$, что соответствует распространению плоской волны. Из условия непрерывности волны и ее первой производной во всей области движения следует:

$$\Psi_1(x_0) = \Psi_2(x_0); \quad \left. \frac{d\Psi_1}{dx} \right|_{x=x_0} = \left. \frac{d\Psi_2}{dx} \right|_{x=x_0}. \quad (4)$$

В области I

$$\Psi_1(x) = A_1 \exp(ik_1x) + B_1(-ik_1x), \quad (5),$$

где $\exp(ik_1x)$ соответствует волне, набегающей по оси x на барьер слева направо, а $\exp(-ik_1x)$ описывает отраженную волну от барьера.

В области II при $(E - U_0) < 0$ коэффициент k_2 становится чисто мнимым $k_2 = ik$. Отсюда решение уравнение Шредингера для области II приобретает вид:

$$\Psi_2 = A_2 \exp(-ik_2x) + B_2 \exp(ik_2x) = B_2 \exp(ik_2x) = B_2 \exp(-kx), \quad (6),$$

где при достаточной ширине барьера в силу граничных условий можно пренебречь растущей экспонентой $A_2 \exp(kx)$. Существует вполне определенная вероятность найти частицу в области x , классически недоступной области II [9], которая равна:

$$|\Psi_2|^2 = B_2^2 \exp(-2kx) = B_2^2 \exp[-2x\sqrt{2m(U_0 - E)} / \hbar]. \quad (7)$$

С учетом спектра поглощения можно оценить высоту барьера как $U_0 - E = h\nu = h/\lambda$, относительная вероятность найти электрон на расстоянии x от границы барьера в области II убывает экспоненциально с показателем:

$$P_{II} = \exp(-\frac{2}{\hbar} x \sqrt{2m(U_0 - E)}). \quad (8)$$

Используя спектр поглощения триптофана в УФ диапазоне 280 нм (рис. 4) [10], можно оценить вероятность нахождения электрона в области II (в соответствии с (8)), на расстоянии $x = 0,1$ нм, от границы барьера.

$$\begin{aligned} P_{II} &= \exp(-\frac{2}{\hbar} x \sqrt{2m(U_0 - E)}) = \\ &= \exp(-\frac{2}{1.055 * 10^{-34}} * 1.0 * 10^{-10} * \sqrt{2 * 0,91 * 10^{-30} * \frac{6.62 * 10^{-34} * 3 * 10^8}{2.8 * 10^{-7}}}) = 0.12 \end{aligned} \quad (9)$$

Вероятность нахождения электрона в области II имеет значение порядка 12%, что представляет значительную величину с учетом числа ударов электрона о границы потенциальной «ямы» в единицу времени.

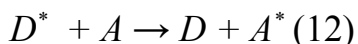
Используя условие сшивки, аналогичные (4) можно определить вероятность P_{III} , нахождения электрона в области III, которая пропорциональна $|\Psi_a|^2$ и при $ka \gg 1$ составляет:

$$P_{III} = \exp(-2ka) = \exp[-2a\sqrt{2m(U_0 - E)} / \hbar]. \quad (10)$$

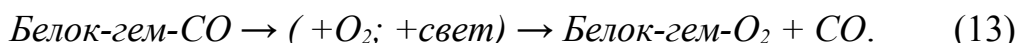
Величина P_{III} определяет прозрачность барьера. Если электрон совершает осцилляторные движения в потенциальной «яме», ударяясь с определенной частотой (ω) о ее стенки, то можно показать, что вероятность его выхода из «ямы» в единицу времени будет равна (формула Гамова):

$$W_0 = v \exp[-2a\sqrt{2m(U_0 - E)/\hbar}]. \quad (11)$$

Рассмотрим процессы, происходящие в молекулах биологических полимеров при отрыве электрона от молекулы донора D и прикреплении к молекуле акцептора A . Общая схема электронного возбуждения в белках имеет вид:

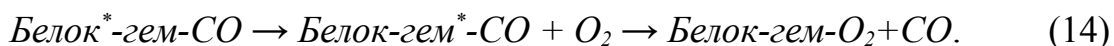


Скорости электронного переноса (туннелирования) имеют значения порядка $10^{-5} - 10^{-12}$ с. При поглощении кванта энергии в присутствии кислорода происходит отщепление СО от карбомиоглобина:



Разрыв связи гем—СО происходит в следствие фотодиссоциации или распада этого соединения в возбужденном состоянии. Энергии поглощенного кванта оказывается достаточно не только для перевода молекулы в возбужденное состояние, но и для повышения запаса ее колебательной энергии на величину, превышающую глубину минимума потенциальной кривой $U^*(R)$ возбужденного состояния (рис. 5).

Фотохимическая реакция отщепления СО от гемма вызывается светом, поглощенным гемом, и достаточно эффективна при длинах волн около 410 нм и в области 280 нм, где до 40 % энергии поглощают ароматические группы белка, возбуждение приводит к такому же эффективному распаду связи гем СО. Это свидетельствует о миграции энергии от белка на гем. Затем эта энергия растрачивается на фотохимическое отщепление оксида углерода:



Последнее состояние в цепочке реакции по миграции энергии (14) является метастабильным, и сохраняет устойчивость длительное время.

Выводы

На основании полученных результатов и развитых представлений можно сделать следующие выводы:

1. Биологические полимеры, входящие в состав волос человека, под действием электромагнитного поля переходят в возбужденное состояние, что стимулирует перенос электронов от донора к акцептору и процессы химического окисления биологических полимеров.
2. Развитые представления позволяют построить концептуальную модель динамики изменения параметров свечения волос под действием электромагнитного поля.
3. Как экспериментальные данные, так и концептуальные представления свидетельствуют о зависимости изменения электронных процессов в биологических полимерах волос от их физико-химического состояния. В «свежих» волосах идут процессы окисления в присутствии воды, вследствие чего происходит экспериментально наблюдаемое изменение параметров свечения под действием электрического поля. В «выдержанных» волосах данного процесса не происходит из-за деструктуризации белковых структур.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Коротков К.Г., Нечаев В.А., Петрова Е.Н., Вайншелбойм А., Коренюгин Д.Г., Шигалев В.К.* Исследование ГРВ свечения волос // Приборостроение. 2006. № 2. С. 51-56.
2. *Скальный А.В., Быков А.Т.* Эколого-физиологические аспекты применения макро- и микроэлементов в восстановительной медицине. Оренбург: РИК ГОУ ОГУ, 2003. 198 с.
3. *Clarence R. Robbins.* Chemical and Physical Behavior of Human Hair. Springer-Verlag, New York. 1994.
4. *Vainshelboim A. L., Hayes M. T., Korotkov K. G., Momoh K. S.* GDV Technology Applications for Cosmetic Sciences // IEEE 18th Symposium on Computer-Based Medical Systems (CBMS 2005). Dublin, Ireland. June 2005.
5. *Коротков К. Г.* Основы ГРВ Биоэлектрографии. Л.: Изд-во СПбГУИТМО. 2001. 360 с.
6. *Коротков КГ, Малюгин ВИ, Кизеветтер ДВ, Петрова ЕН, Вайншелбойм А, Матраверс П.* Временная динамика реакции волос на лазерное излучение и электромагнитное поле // Материалы X международного конгресса по биоэлектрографии. 2006. С. 57-61.
7. *Рубин А. Б.* Биофизика. М: Наука. 2004. Том 1. 463 с.
8. *Charles A. Wert, R.M. Thomson.* Physics of solids. Illinois. McGraw-Hill Book Company. New-York. 1964. P. 343.

9. *Шайтан КВ.* Каким образом электрон движется по белку // Соросовский Образовательный Журнал. 1999, № 3. С. 58.
10. *Владимиров ЮА.* Инактивация ферментов ультрафиолетовым облучением // Соросовский Образовательный Журнал. 2001, Том 7, № 2. С.21.

Рекомендована кафедрой
проектирования компьютерных
систем

Поступила в редакцию

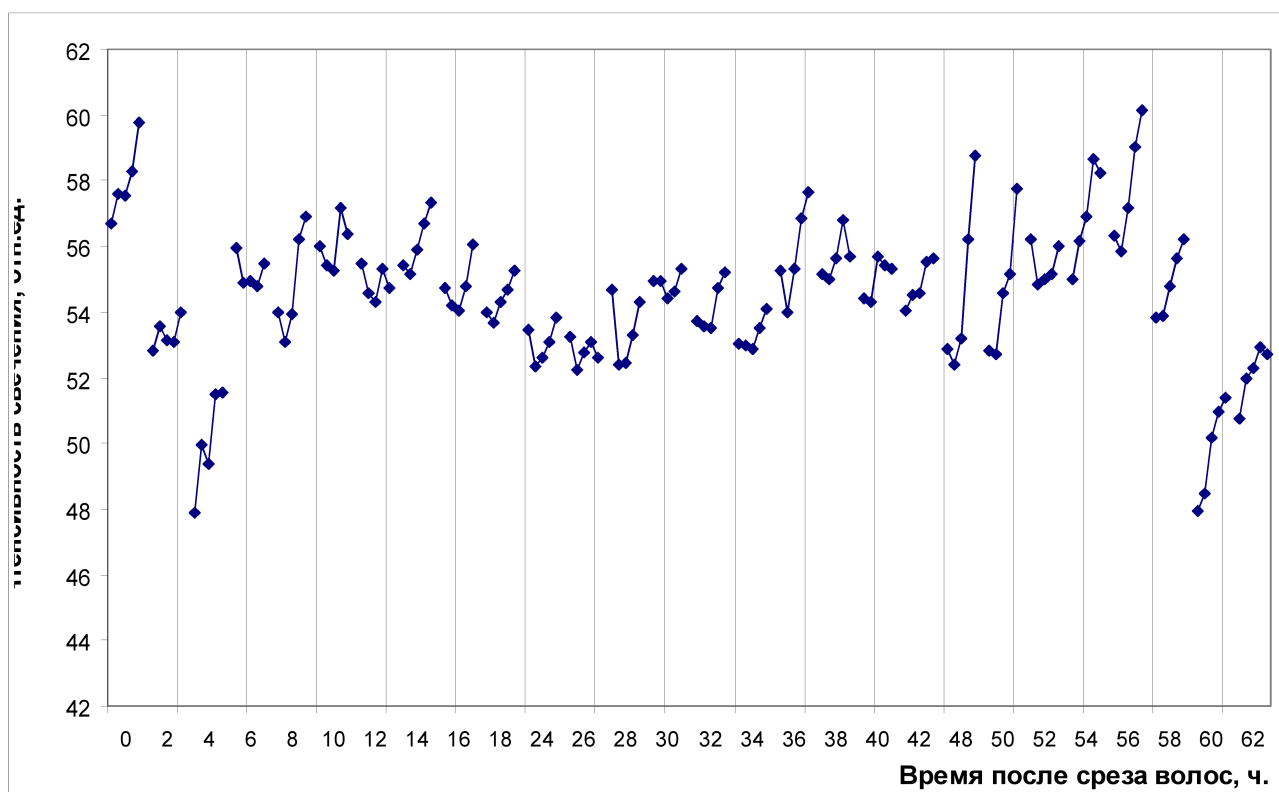


Рисунок 1. График динамики изменения интенсивности газоразрядного свечения «свежих» образцов волос под действием электрического поля.

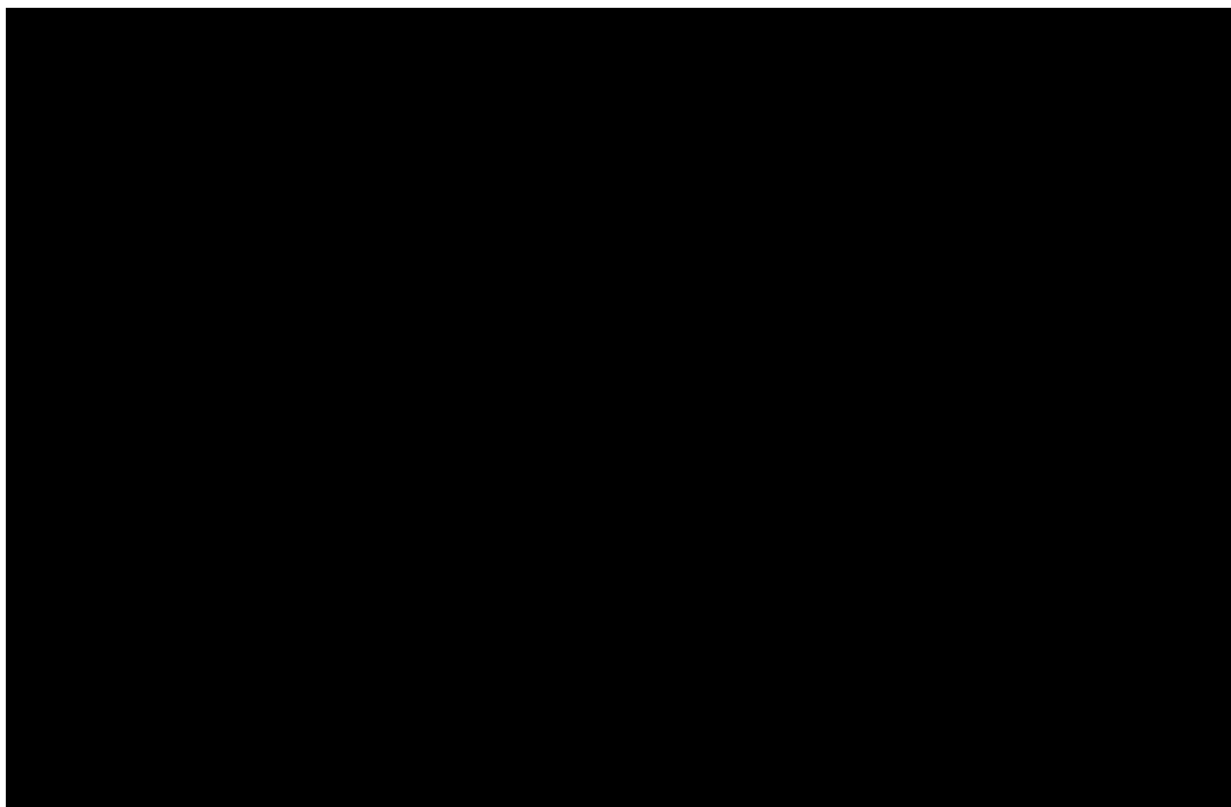


Рисунок 2. Графики сравнения динамики изменения интенсивности свечения «свежих» и «выдержанных» образцов волос под действием электрического поля .

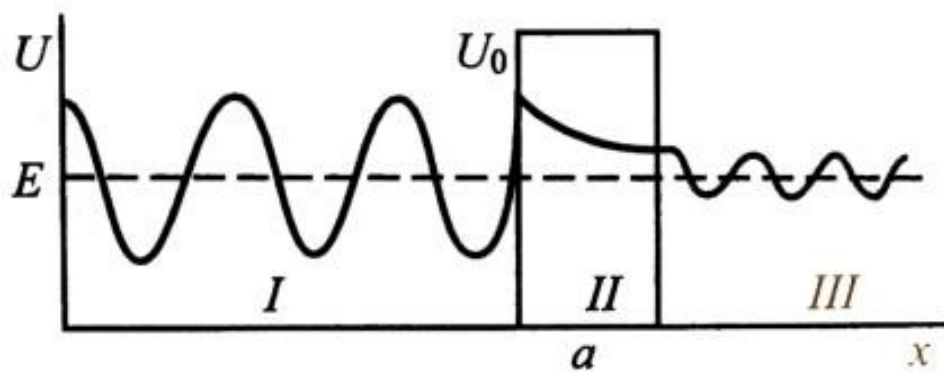


Рисунок 3. Механизм туннелирования электрона [7].

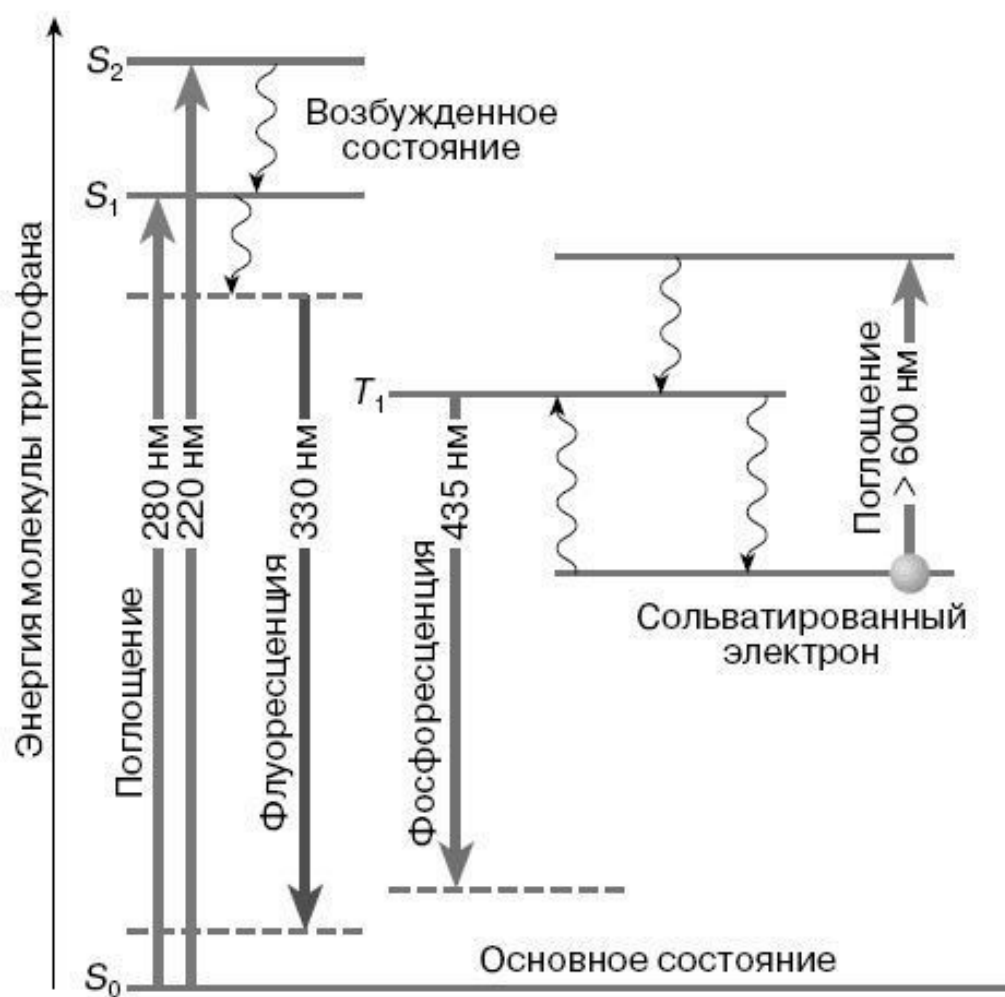


Рисунок 4. Спектры молекулы триптофана [10].

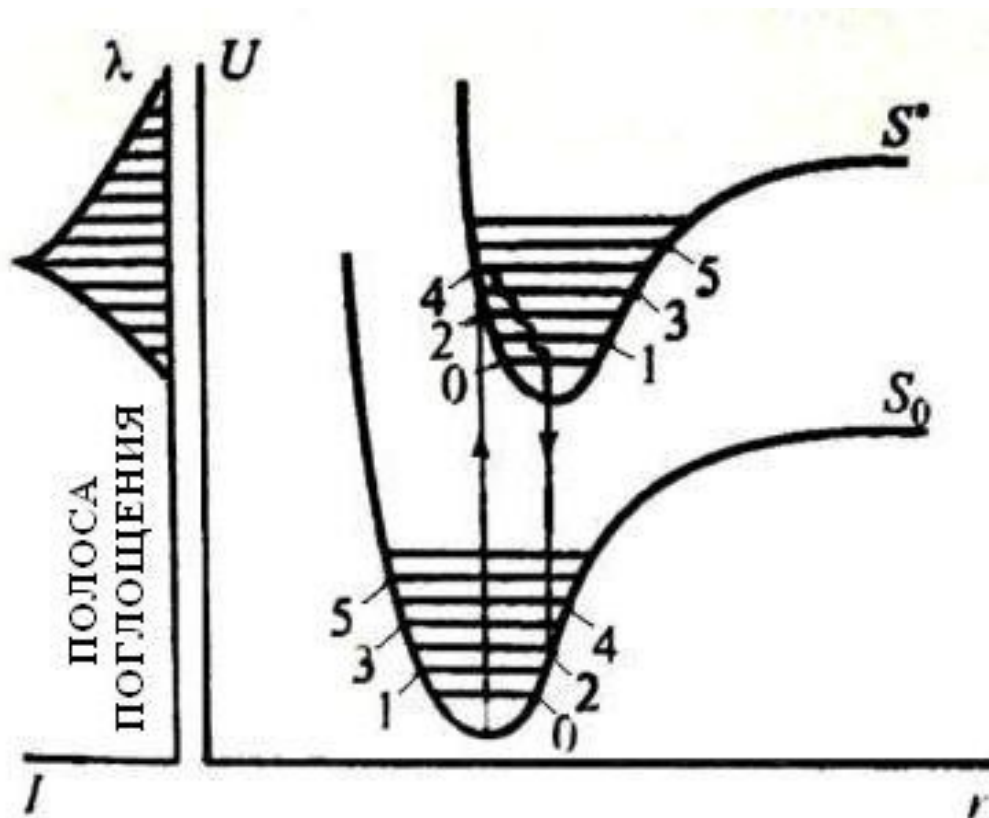


Рисунок 5. Кривые потенциальной энергии основного S_0 и синглетного S^* состояний двухатомной молекулы. U – потенциальная энергия; r – межъядерное расстояние; I – интенсивность поглощения; λ – длина волны; 0 – 5 – колебательные подуровни ядерных состояний [9].

В. В. СЕНЬКИН, И. Б. УШАКОВ, Ю. А. БУБЕЕВ, В. К. СТЕПАНОВ

Государственный Научно-исследовательский Испытательный

Институт Военной Медицины МО РФ, г. Москва

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ГРВ БИОЭЛЕКТРОГРАФИИ В АВИАЦИОННОЙ И КОСМИЧЕСКОЙ МЕДИЦИНЕ.

Исследовали возможность использования метода ГРВ биоэлектрографии для оценки и прогнозирования функционального состояния летного состава и контроля состояния их функциональных и физиологических систем в процессе выполнения профессиональной деятельности и прохождении врачебно-летной экспертизы.

Биоэлектрографические корреляты «функциональной нормы» и «функциональной патологии»

Для достижения поставленной цели последовательно решались задачи оценки стабильности и воспроизводимости биоэлектрографических параметров, оценки информативности предложенных диагностических критериев и параметров газоразрядных изображений. Было показано, что наибольшей корреляционной связью с существующими классическими методами функциональной диагностики имеют четыре параметра из предложенных разработчиками программно-аппаратного комплекса: **абсолютная площадь засветки, нормализованная площадь изображения свечения, интегральная площадь изображения свечения пальцев правой и левой рук, коэффициент формы**, [1] и один коэффициент, введенный нами: **асимметрия (разность) интегральных площадей изображения (JSR-JSL)**. Параметр JS вычисляется как среднее арифметическое показателей, нанесенных на диаграмму, состоящую из

диагностических секторов [2]. Для каждого сектора вычисляется параметр W_k отдельно для правой (JSR) и левой (JSL) руки (1):

$$W_k = a \ln \{ (F / F^t)_k / (F_o / F^t_o)_k \} \quad (1)$$

где индекс k относится к данному сектору; a – весовой коэффициент, в относительных единицах; F – значение параметра оцениваемой ГРВ-граммы в данном секторе, в пикселях; F^t – значение параметра ГРВ-граммы тест-объекта в данном секторе, в пикселях; F_o – значение параметра для части внутреннего овала в данном секторе, в пикселях; F^t_o – значение параметра для части внутреннего овала ГРВ-граммы тест-объекта в данном секторе, в пикселях [3].

Для оценки биоэлектрографической нормы функционального состояния авиационных специалистов определен диапазон разброса ГРВ-показателей – пространственно-амплитудных биоэлектрографических коррелятов функционального состояния, позволивший определить характер распределения принятых типов газоразрядного изображения применительно к специалистам авиационного профиля.

Биоэлектрографический анализ летного состава с диагнозом «здоров» показал, что в большинстве случаев функциональное состояние представлено Ia и Ib [2] типами свечений (обозначения по различным классификациям), минимальное количество случаев было представлено Ib [2] типом газоразрядных изображений, обнаруженных соответственно у лиц, имеющих умеренные или выраженные изменения в состоянии функциональных и физиологических систем, а также при выраженном психоэмоциональном этиологическом компоненте. Pa тип занимал промежуточное положение и отражал, как правило, незначительные или умеренные изменения функционального состояния. III-IV [2] типы обнаружены не были.

Практика обследования методом вызванных биоэлектрографических сигналов показала, что каждому из вышеуказанных типов и основных групп изображения может быть поставлено в соответствие определенное

психофизиологическое состояние организма, а в общем случае можно говорить о типе функционального состояния.

Описанную совокупность ГРВ-признаков в дальнейшем использовали в виде шкалы, где указанные пространственно-амплитудные характеристики, определяющие тип свечения, их динамика и соотнесенность между собой являлись показателями определенных состояний организма, изменений их во времени или в результате какого-либо воздействия. Так, показатели типов Ia–Ib, отражающих «полюс нормы» функционального состояния в сравнении с типами IIb–III, характеризующими «полюс функциональных нарушений», отличались тенденцией к одновременному «росту» площадей засветки, уменьшению коэффициента формы, фрактального коэффициента ГРВ–граммы, снижению показателя асимметрии JS изображения пальцев правой и левой рук. Указанное соотношение показателей, или тенденция к возникновению такого соотношения характеризовали процесс улучшения функционального состояния организма, что являлось определяющим моментом в анализе эффективности различных воздействий, как-то – результативность при прохождении нагрузочной пробы или критерий эффективной терапии.

Таким образом, последовательный анализ отобранных показателей газоразрядного свечения и выявляемые тенденции в динамике этих показателей использовались в качестве алгоритма оценки функционального состояния, основанного на результатах метода компьютерной биоэлектрографии.

Биоэлектрографические критерии индивидуальной устойчивости к пилотажным перегрузкам и оценки переносимости функциональных нагрузочных проб

Известно, что обследование на центрифуге является специфической функциональной пробой, в известной мере адекватной летной работе. Результаты обследования на центрифуге позволяют врачу-эксперту получить данные не только об устойчивости организма человека к воздействию ускорений, но и об особенностях и отклонениях в регуляции основных физиологических функций в

условиях стресса, которые трудно, а иногда и невозможно выявить при обычном клиническом обследовании.

Для анализа адаптационных возможностей организма и оценки индивидуальной устойчивости летчика к профессиональному фактору пилотажных перегрузок при экспертном обследовании на центрифуге биоэлектрографический диагностический подход был использован впервые.

Биоэлектрографическими критериями индивидуальной устойчивости летного состава к пилотажным перегрузкам, достоверно коррелировавшими с традиционными показателями сердечно-сосудистой системы (артериальное давление, пульс) и результативностью переносимости функциональных нагрузочных проб, оказались *абсолютная, нормализованная, интегральная площади засветки, фрактальная характеристика и их динамика*. Наиболее чувствительным и прогностически значимым относительным ГРВ-параметром оказалась *разница интегральных площадей свечения пальцев правой и левой руки*.

Исследование информативности биоэлектрографических параметров при моделировании профессионального фактора пилотажных перегрузок при экспертном обследовании на центрифуге показало, что артериальное давление на площадках перегрузки 3, 5, 6 G на первой и пятой минутах восстановления после их действия, относительные показатели прироста величины падения артериального давления, частота сердечных сокращений, нормализованная площадь свечения преимущественно пальцев левой руки (2, 3, 4, 5), интегральная площадь изображения и относительный показатель динамики асимметрии интегральной площади достоверно различались в группах летного состава с хорошей и низкой переносимостью пилотажных перегрузок.

Летный состав, обследование которого было прекращено в соответствии с известными показаниями, одним из сопутствующих симптомов имел повышенную хронотропную активность сердца, что, как известно, в 70-80%

случаев предшествует функциональным расстройствам, отмечаемым при проведении экспертных стендовых исследований.

В связи с вышесказанным обращает на себя внимание полученная закономерность: величина частоты сердечных сокращений при фоновом обследовании и в процессе вращения на площадках перегрузки 3, 5, 6 G, на первой и пятой минутах восстановления имеет отрицательную корреляционную взаимосвязь с нормализованной площадью и величиной падения интегральной площади изображения (JS L) на левой руке.

Хорошая переносимость пилотажных перегрузок характеризовалась увеличением значения JSR правой руки на 0,2-0,3 отн.е., с одновременным стремлением асимметрии к нулю и более низкими значениями JSR правой руки по сравнению с левой ($JSR < JSL$) при фоновом обследовании. Обнаруженная функциональная правосторонняя асимметрия оказалась прогностически значимым показателем, отражающим наличие высоких функциональных резервов.

Низкая переносимость отличалась отрицательной динамикой JSL левой руки, составившей минус 0,5 – 0,6 отн. ед., увеличением асимметрии по сравнению с исходными значениями до уровня 0,2-0,53 отн. ед. и более низкими значениями JSL левой руки по сравнению с правой ($JSR > JSL$) при фоновом обследовании.

Обнаруженный феномен левосторонней асимметрии присутствовал у летного состава, обследование которого было прекращено по показаниям или имел удовлетворительную оценку. Обращает на себя внимание особенности и косвенные признаки снижения функциональных возможностей сердечно-сосудистой системы у лиц, имевших левостороннюю асимметрию.

В соответствии с положениями доказательной медицины нами проведена оценка эффективности диагностики и вычисление операционных характеристик метода вызванных биоэлектрографических сигналов при сравнении с «золотым

стандартом», где в качестве референтного использовалась совокупность традиционных показателей переносимости пилотажных перегрузок.

Информативность и критерии биоэлектрографического подхода для оперативной диагностики эффективности коррекции функционального состояния

Характер изменений в соотношении биоэлектрографических параметров, происходящих во времени при прохождении курсовой терапии, а также в результате использования различных методов терапии, является определяющим в диагностике эффективности применяемых лечебных техник.

Таким образом, в начале курса лечения проводится диагностика состояния организма и определяется его статус на биоэлектрографической шкале, соответствие определенному типу на момент начала лечения, которые косвенно говорят о функциональных возможностях организма. Далее проводится мониторинг состояния организма до и после применения конкретной восстановительной техники. На основании результатов фонового обследования и ответной реакции организма на воздействие составляется прогноз и подбирается последующие дозировки используемых лечебных процедур.

Опыт применения биоэлектрографической диагностики показал, что значимыми оказываются не абсолютные изменения какого-либо одного параметра в перечисленных пространственно-амплитудных характеристиках свечения, а установленные нами закономерности в их соотношении.

Как правило, в случае адекватного подбора дозы и способа коррекции наблюдается феномен постепенного «смещения» в преобладании биоэлектрографических типов IIb-III, отражающих «полюс функциональных нарушений» в сторону типов (I), характеризующих «полюс нормы» функционального состояния. При этом отчетливо проявляется особенность типа IIa, являющегося как бы промежуточным между типами - «полюсами функционального состояния» и отражающего феномен перехода от функциональных нарушений к функциональной норме. То есть процесс

улучшения не сопровождается одномоментной трансформацией типов IIb-III в (I) соответственно, а проходит последовательно через стадию IIa, что закономерно становится видимым как кратковременное увеличение количества типов в процессе проводимой терапии.

Необходимо отметить, что перераспределение типов свечений, отражающее эффективность восстановительного лечения, проявляется в устойчивом появлении типов (I) на первом, втором и пятом пальцах. Отсутствие устойчивости указанных типов на третьем и четвертом пальцах говорит о наличии сохраняющейся парциальной недостаточности функционального состояния.

В процессе исследования обратил на себя внимание тот факт, что как при фоновом, так и при контрольном обследовании летного состава, значимыми оказались связи между ГРВ параметрами и показателями гемодинамики (частоты сердечных сокращений и артериального давления) отражающими преимущественно ее сосудистый компонент, что подтверждает полученные нами ранее данные о взаимосвязи динамики ГРВ-параметров с гемодинамическими показателями, полученными при обследовании летного состава, проходящего функциональные нагрузочные пробы в целях врачебно-летной экспертизы. Аналогичные взаимосвязи были получены врачами клиницистами, использующими биоэлектрографический подход в диагностике нарушений кровообращения внутренних органов при различных патологических симптомокомплексах (4, 5).

Наблюдались также и обратные описываемым тенденции в динамике биоэлектрографических параметров, которые напоминали аналогичные при проведении обследования летного состава на переносимость функциональных нагрузочных проб и гипоксической тренировки. Эти результаты позволили сделать выводы о неадекватности применяемых доз и неправомерности использования отдельных рекомендуемых восстановительных техник. Все это еще раз подтвердило прерогативу диагностики, которая объясняется ее особенной значимостью в связи с неадекватным использованием различных методов лечения.

Выводы

- Наибольшей корреляционной связью с существующими классическими методами функциональной диагностики имеют четыре параметра из предложенных разработчиками программно-аппаратного комплекса: **абсолютная площадь засветки, нормализованная площадь свечения, интегральная площадь изображения пальцев правой и левой рук, коэффициент формы**, и введенный нами коэффициент **асимметрии интегральных площадей изображения**.

- Биоэлектрографический анализ летного состава с диагнозом «**здоров**» показал, что в большинстве случаев функциональное состояние представлено Ia и Ib типами свечений (обозначения по различным классификациям), минимальное количество случаев было представлено IIb типом газоразрядных изображений, обнаруженных соответственно у лиц, имеющих умеренные или выраженные изменения в состоянии функциональных и физиологических систем, а также при выраженном психоэмоциональном этиологическом компоненте. IIa тип занимал промежуточное положение и отражал, как правило, незначительные или умеренные изменения функционального состояния. III-IV типы обнаружены не были.

- Наиболее чувствительным и прогностически значимым относительным ГРВ-параметром оказалась **разница интегральных площадей свечения пальцев правой и левой руки**. Наиболее информативным биоэлектрографическим критерием переносимости нагрузки является относительная величина динамики площадей изображения (JS) правой и левой рук, полученная при фоновом и контрольном обследовании.

- Хорошая переносимость пилотажных перегрузок характеризовалась увеличением значения JSR правой руки на 0,2-0,3 отн.е., с одновременным стремлением асимметрии к нулю и более низкими значениями JSR правой руки по сравнению с левой ($JSR < JSL$) при фоновом обследовании. Обнаруженная функциональная правосторонняя асимметрия оказалась прогностически

значимым показателем, отражающим наличие высоких функциональных резервов. Низкая переносимость отличалась отрицательной динамикой JSL левой руки, составившей минус 0,5 – 0,6 отн.е., увеличением асимметрии по сравнению с исходными значениями до уровня 0,2-0,53 отн.е. и более низкими значениями JSL левой руки по сравнению с правой ($JSL > JSR$) при фоновом обследовании

- Перераспределение типов свечений, отражающее эффективность восстановительного лечения, проявляется в устойчивом появлении I типов свечения на первом, втором и пятом пальцах. Отсутствие устойчивости указанных типов на третьем и четвертом пальцах говорит о наличии сохраняющейся парциальной недостаточности функционального состояния.

- Метод ГРВ биоэлектрографии обладает высокой информативностью и может применяться в качестве комплиментарного и самостоятельного метода экспресс-анализа функционального состояния летного состава, ведения динамического наблюдения (мониторинга) и диагностики функциональных возможностей организма.

- Биоэлектрографический подход позволяет реализовать на практике одну из важнейших конечных целей научной и практической военной медицины: прогнозировать результат ответной реакции организма на действующий раздражитель с целью диагностики функциональных резервов, профилактики необоснованного или повреждающего воздействия, подбора индивидуальных доз восстановительного лечения, адекватной и оптимальной тренирующей коррекции, максимально эффективно повышающей функциональные возможности организма, что создают объективную основу для постановки диагностических заключений в принятии экспертных решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Коротков К.Г.* Физические механизмы и методические принципы построения систем ГРВ Биоэлектрографии. // Изв. вузов. Приборостроение. 2005. Т. 48, №11.
2. *Коротков К. Г.* Основы ГРВ Биоэлектрографии. Л.: Изд-во СПбГУИТМО, 2001. 261с.

3. *Коротков К.Г.* Разработка научных основ и практическая реализация биотехнических измерительно-вычислительных систем анализа газоразрядного свечения, индуцированного объектами биологической природы. Автореф. на соиск. учен. степ. докт. техн. наук. - СПб., 1999. -31 С.
4. От эффекта Кирлиан к биоэлектрографии. Сборник. Ред. К.Г. Коротков. СПб.: Изд-во Ольга, 1998. 340с.
5. *Александрова Р.А., Коротков К.Г., Филиппова Н.А., Зайцев С.В., Долинина Л.Ю., Кокорев Л.С., Лубеева О.А., Тимчик В.Г.* Новые подходы к оценке состояния и лечению больных с позиций энергоинформационных представлений. // Системный подход к вопросам анализа и управления биологическими объектами: Научно-практическая конференция. – М. – СПб., - 2000. – С.12-13.
6. *Гимбут В.С.* Диагностические возможности модифицированного метода Кирлиан в Акушерстве / Вестник Северо-западного отделения Акад. мед.-техн. наук РФ. Выпуск 4. Под ред. К.Г. Короткова // СПб., Изд-во «Агенство «РДК принт», 2001. – С. 75-86.

Рекомендована кафедрой
проектирования компьютерных
систем

Поступила в редакцию

Э.В. КРЫЖАНОВСКИЙ Э.В.^{1,2}, М.В. БОРИСОВА¹, К.Ч. ЛИМ³, Т. Ш. ЧАН³

¹ Некоммерческая Организация « Ассоциация Кирлионикс Технолоджис
Интернейшнл»,

² Научно-Исследовательский Институт Физической Культуры и Спорта,
Санкт-Петербург, Россия

³ BAE International Inc.SDN BHD, Kuala-Lumpur, Malaysia

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД НА СОСТОЯНИЕ ЧЕЛОВЕКА МЕТОДОМ ГРВ БИОЭЛЕКТРОГРАФИИ

Для оценки качества жизни использован метод ГРВ биоэлектрографии. Оценка проводилась на основании анализа ГРВ изображений пальцев рук людей в процессе изменения их психофизиологического состояния. В качестве дополнительной верифицирующей методики определения психоэмоционального статуса человека был использован метод POMS (анкета-опросник «профиль настроения»).

Введение

В настоящей работе были исследованы реакции группы людей на применение в течение 6 недель минеральной воды из источника в Малайзии; этой же воды, находившейся в естественном энергетическом месторождении (т.н. биоактивной энергетической воды (БЭВ)); и обычного раствора соли NaCl.

Методы исследования

1. Физико-химические методы исследования

Были применены следующие методы анализа: определение электропроводности, кислотности, показателя преломления раствора, фотокалометрический, атомно-абсорбционная спектроскопия (ААА),

эмиссионно-спектральный анализ (ЭСА), ионная хроматография, качественный хроматографический анализ.

2. Метод ГРВ биоэлектрографии

ГРВ-граммы жидкостей были получены с помощью специального устройства для жидкости (рис. 1). Жидкость в этом устройстве была подвешена в виде капли над поверхностью экрана на расстоянии 3 мм.

При исследовании жидкостей измерялись следующие параметры ГРВ-грамм - площадь и интенсивность засветки, коэффициент фрактальности, энтропия (все параметры измеряются в безразмерных единицах). ГРВ-граммы пальцев рук испытуемых обрабатывались в стандартных программах ГРВ комплекса.

Исследования проводились с помощью прибора "ГРВ Камера".

3. Метод POMS

Психоэмоциональный статус испытуемых определяли с помощью теста "POMS" [6] путем определения шести показателей (факторов): тревожность (T), депрессия-подавленность (D), гнев-агрессивность (A), сила-активность (V), усталость-утомленность (F) и смущение-замешательство (C).

Для определения психоэнергетического потенциала использовался параметр TMD:

$$TMD = [(T + D + A + F + C) - V], \quad (1)$$

где V, T, D, A, F и C - значения факторов теста "POMS".

Схема эксперимента

На первом этапе исследования определялся химический состав минеральной воды с помощью физико-химических методов анализа (ФХМА). Затем проводились сравнения минеральной воды, минеральной воды после нахождения в энергетическом месторождении, т.н. биоактивной энергетической воды (БЭВ) (BAE Synergy Liquid) и физиологического раствора методом ГРВ.

На втором этапе была исследована группа добровольцев из семи человек на предмет выявления реакции на прием минеральной воды, минеральной воды после нахождения в энергетическом месторождении и физиологического раствора, применяемого в качестве контроля. Прием происходил в три этапа: шесть недель добровольцы принимали минеральную воду, затем шесть недель – БЭВ.

В конце каждой недели, добровольцы проходили тест POMS, на основании которого оценивалось изменение их психологического статуса, а также измерялись основные параметры ГРВ пальцев рук человека.

Анализ результатов исследования

Результаты ФХМА раствора БЭВ представлены в таблице 1. Были определены следующие химические компоненты: Cl (8700 мг/л), Na (5500 мг/л), SO₄ (4,5 мг/л), Mg (1,1 мг/л), Ca (0,45 мг/л), Si (0,25 мг/л), Fe (0,06 мг/л), Ti (0,04 мг/л), Al (0,03 мг/л), Cu (0,025 мг/л), Zn (0,02 мг/л), Cr (0,02 мг/л), Ag (0,01 мг/л), Mn (0,01 мг/л), Ni (0,008 мг/л).

Как следует из результатов анализа, исследуемая жидкость представляет собой концентрированный солевой раствор, основной фоновый компонент хлорид натрия, концентрация значительно превышает предельно допустимую концентрацию (ПДК), остальные компоненты не ярко выражены.

Наличие в таком количестве хлорида натрия предполагает полную консервацию раствора, наличие серебра также является добавочным фактором для консервации.

Минеральная вода представляет собой 100 кратное разбавление БЭВ.

Метод ГРВ позволил выявить статистически значимые различия между минеральной водой и БЭВ. На рис.3. показаны различия в динамике изменения параметра Энтропии ГРВ-граммы во времени в течение 3-х секунд экспозиции капель жидкостей БЭВ, А100 (минеральная вода, не находившаяся в естественном энергетическом месторождении) и раствора NaCl. Объем выборки для каждой жидкости состоял из 15 измерений.

Как видно из рисунка информационная энтропия раствора БЭВ имеет большее значение по сравнению с остальными жидкостями.

По результатам анализа вопросника POMS показано, что за 6 недель принятия обычной воды параметры T, D, A, V, F и C не претерпели значимых изменений. В то же время после принятия БЭВ в течение двух недель происходят значимые уменьшения значений параметров T, D, A, F и C (измеряются в условных баллах), что говорит об уменьшении тревожности, агрессии и неуверенности в себе добровольцев. Значимый рост параметра V происходит на четвертую неделю использования, что характеризует повышение позитивной эмоциональной составляющей и общего энергетического состояния добровольцев. Суммарный показатель TMD представлен на рис.4.

Результаты измерения показателя ГРВ активация также не показали значимых изменений после принятия обычной воды, но имели значимые различия после использования БЭВ (рис.5).

Площадь засветки и интенсивность свечения ГРВ-грамм пальцев рук добровольцев значимо увеличились после четвертой недели использования БЭВ.

Выводы

На основании анализов результатов экспериментов методами POMS и ГРВ можно сделать следующие выводы:

- ✱ Метод ГРВ позволяет выявлять статистически значимые различия между минеральной водой и той же водой, находившейся в энергетическом месторождении.
- ✱ Метод ГРВ позволяет выявлять изменения эмоционального статуса человека.
- ✱ Использование минеральной воды из энергетического месторождения БЭВ снижает состояние тревожности и агрессии, повышает эмоциональный тонус, а также повышает общее

энергетическое состояния организма (параметр POMS сила-активность (V) и параметр ГРВ площадь засветки).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Коротков К. Г.* Основы ГРВ Биоэлектрографии. Л.: Изд-во СПбГУИТМО, 2001. 361 с.
2. *Korotkov K., Korotkin D.* Concentration dependence of gas discharge around drops of inorganic electrolytes // J. Appl. Phys. 2001, Vol. 89, P. 4732.
3. *Korotkov K., Krizhanovsky E., Borisova M., Korotkin D., Hayes M., Matravers P., Komoh K., Peterson P., Shioza K., Vainshelboim A.* Time dynamics of the gas discharge around drops of liquids // J. Appl. Phys. 2004, Vol. 95, No 7. P. 3334-3338.
4. *Баньковский Н.Г., Коротков К.Г.* Изучение физики газоразрядной визуализации // Письма ЖТФ. 1982, т. 8, N 4, с. 216-230.
5. *Кожаринов В.В., Зацепин Н.Н., Домород Н.Е.* Электроразрядный метод визуализации. Минск: Наука и техника. 1986. 380 с.
6. *McNair D.M.* Profile of Mood States. San Diego, California. 1992. 53 p.

Таблица 1.

Физико-химические характеристики БЭВ	Результаты
Электропроводимость	$245 \cdot 10^{-4} \text{ (Ом} \cdot \text{см)}^{-1}$
Кислотность (pH)	6,82
Коэффициент преломления	1,3356

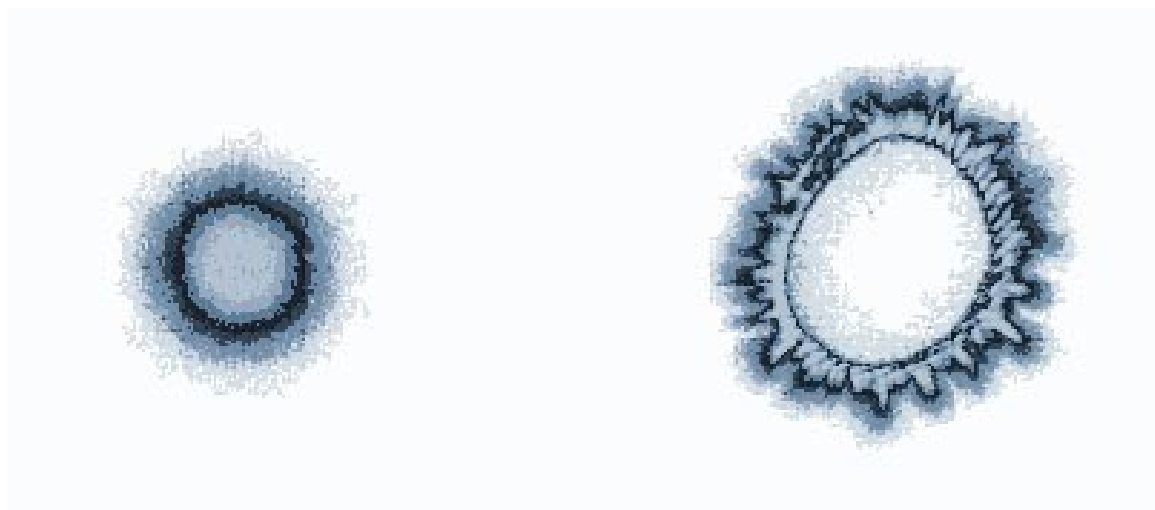


Рис. 1. ГРВ-граммы капель однонормального раствора KNO_3 (слева) и пальца рук человека

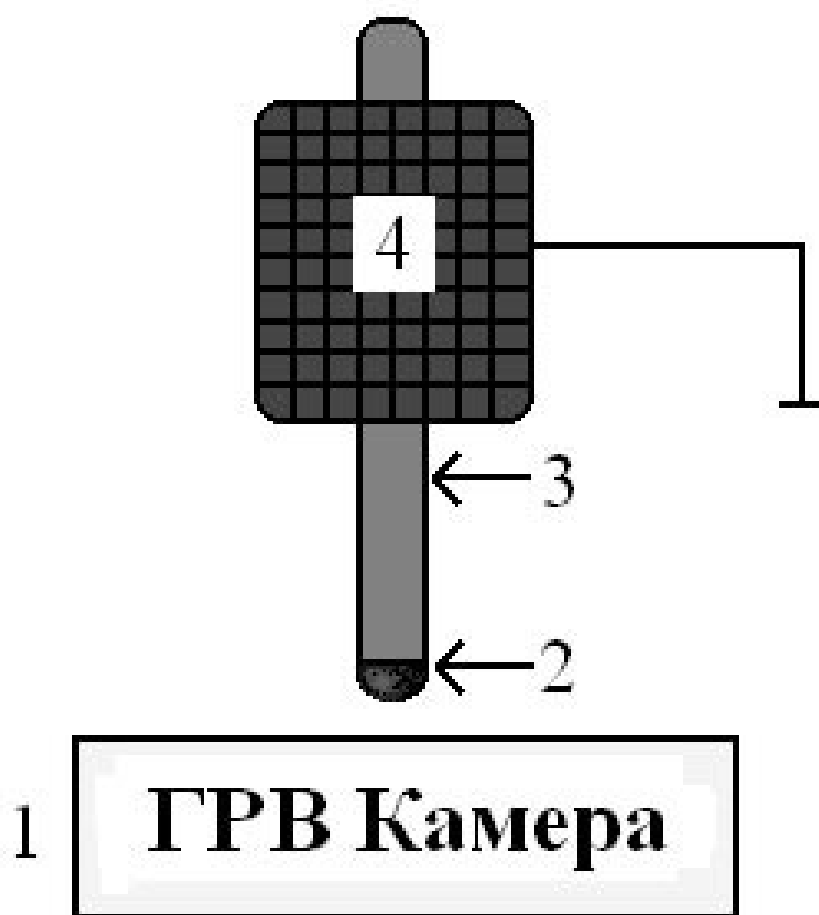


Рис. 2. Экспериментальная установка для измерения газоразрядных изображений жидкости: 1-окно прибора для исследования ГРВ объектов; 2-капля жидкости; 3-шприц; 4-заземление

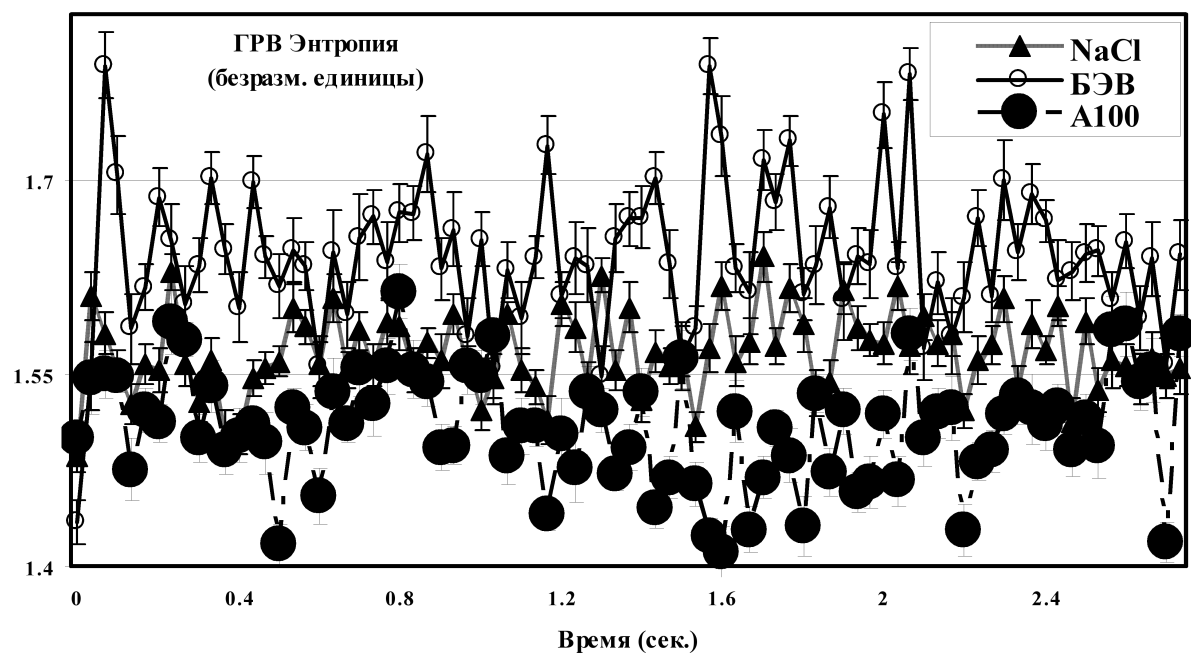


Рис.3. Зависимость параметра Энтропия ГРВ-граммы в зависимости от времени экспозиции.

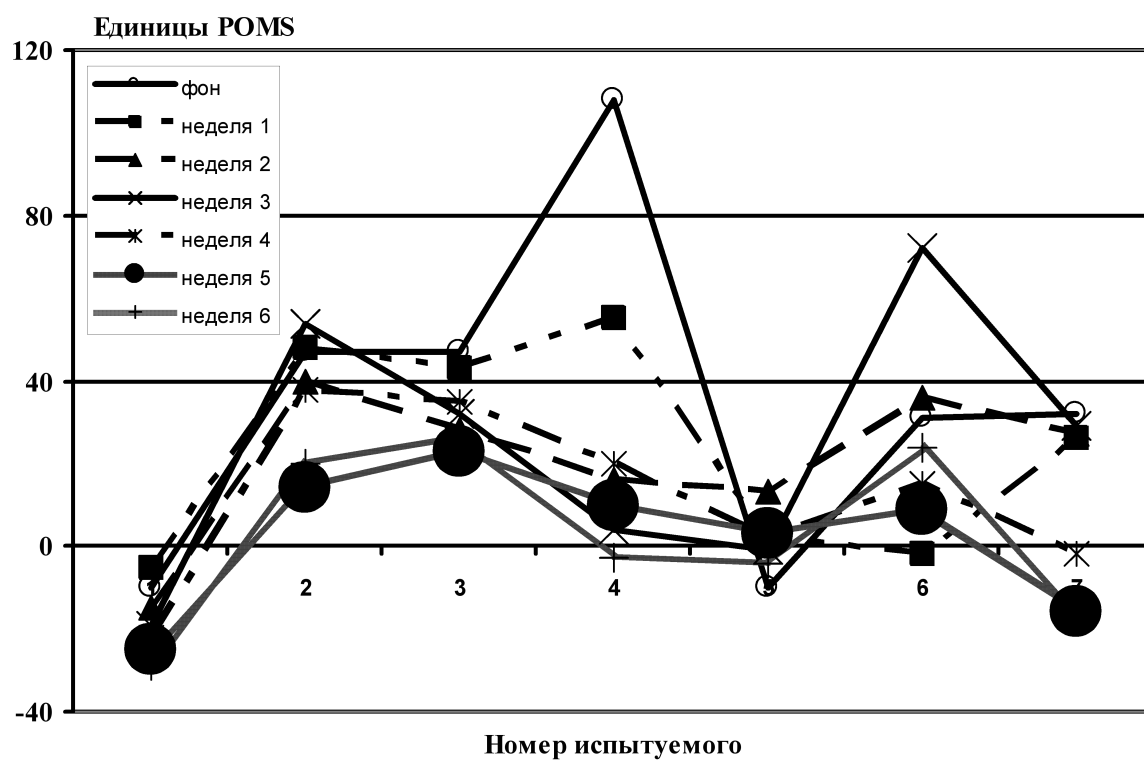


Рис.4. Изменение показателя тревожность для семерых добровольцев в течение шести недель.

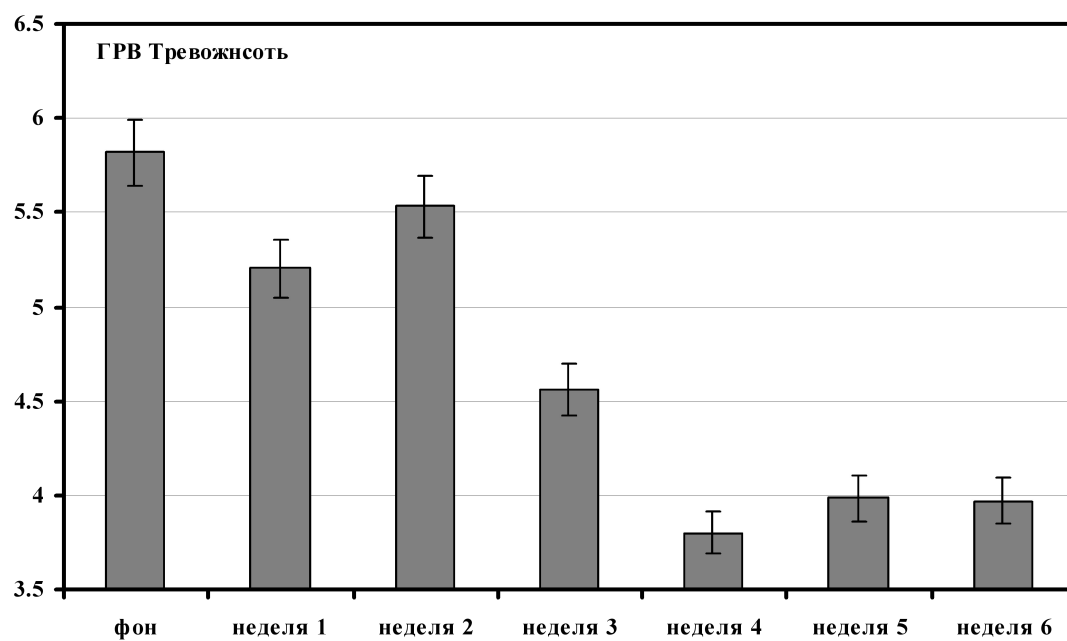
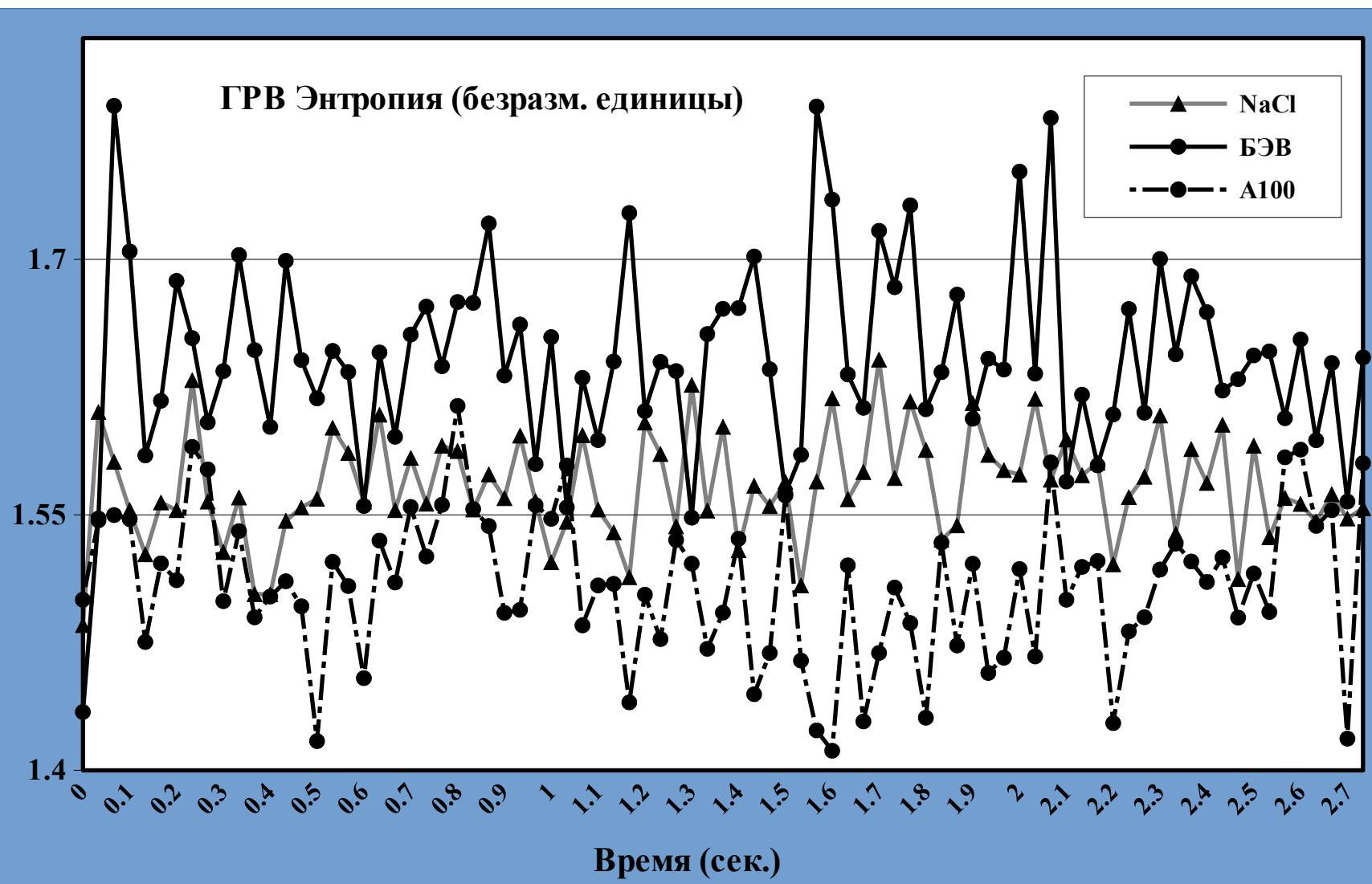
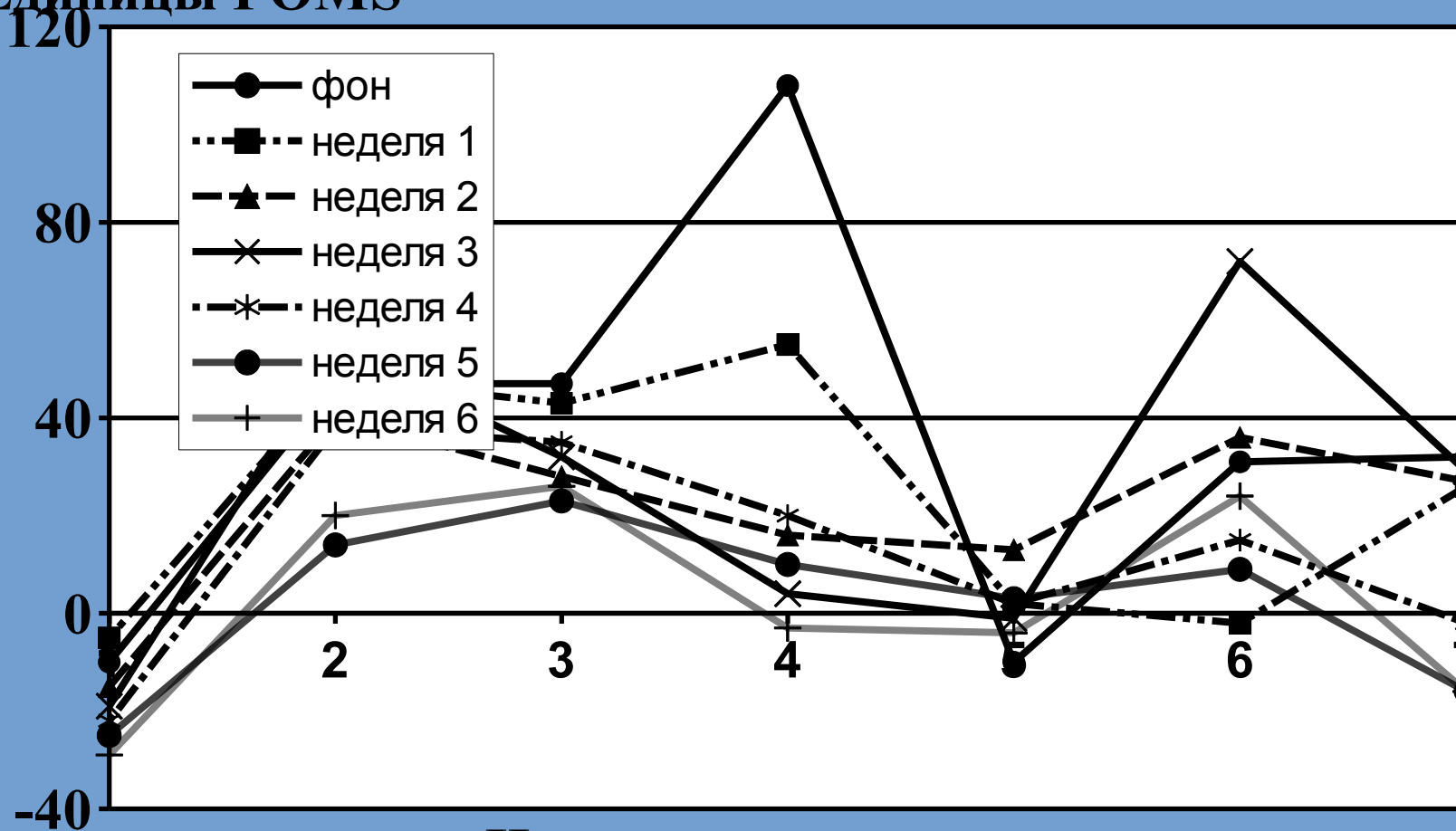
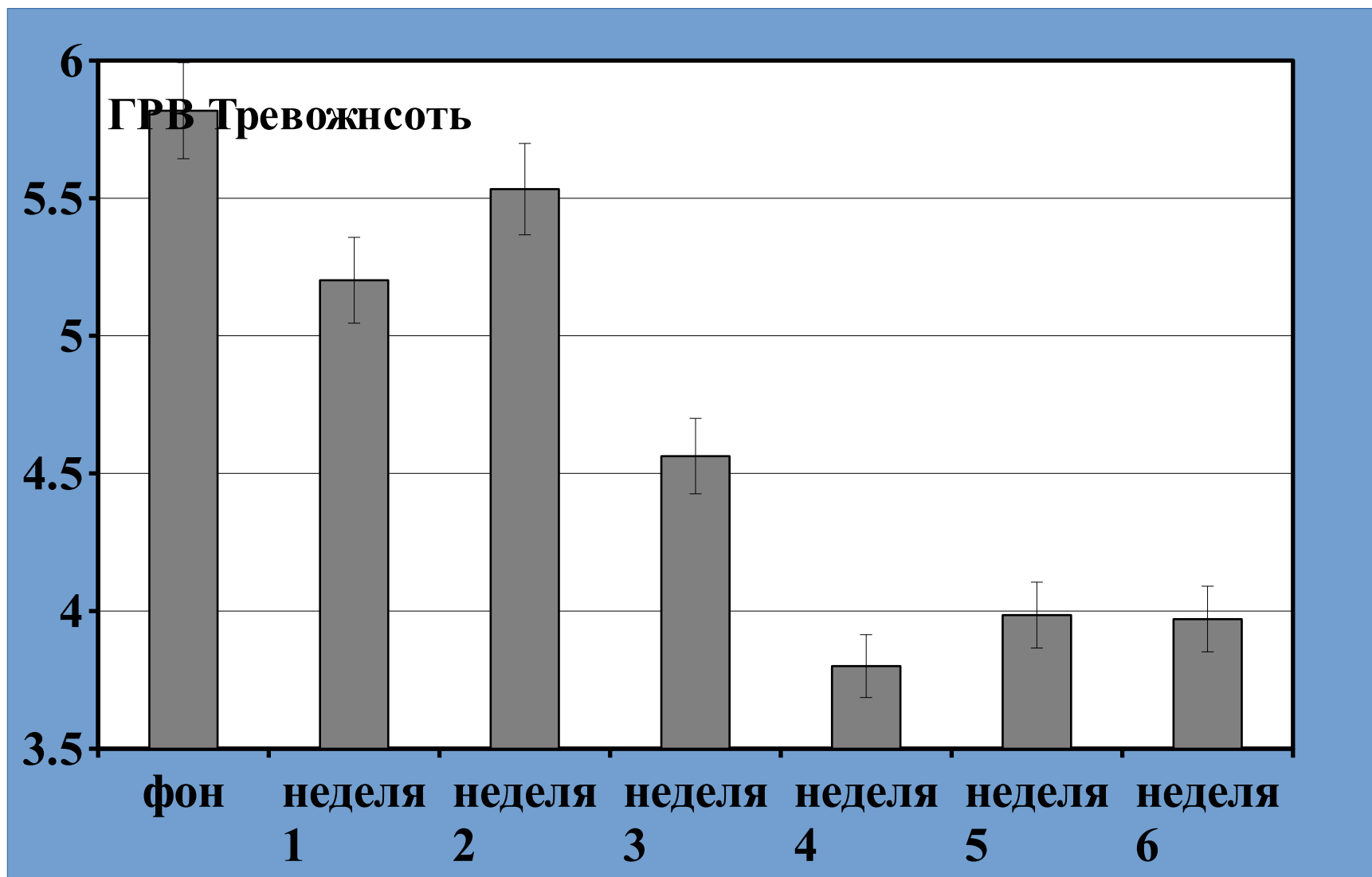


Рис.5. Изменение усредненного параметра ГРВ Тревожности в течение шести недель.



Единицы POMS





Н. С. ПРИЯТКИН¹, К. Г. КОРОТКОВ¹, В. А. КУЗЕМКИН², Т. Б. ДОРОФЕЕВА³

¹ Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики

² Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

³ Центр комплексного благоустройства

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ НА СОСТОЯНИЕ РАСТЕНИЙ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ГРВ БИОЭЛЕКТРОГРАФИИ

В статье приведены описания методик исследования и основные результаты применения метода ГРВ для оценки состояния коры и древесины побегов вяза шершавого (*Ulmus glabra Huds.*), подвергнутых заражению фитопатогенным грибом *Graphium ulmi Schwazz* в условиях *in vitro*, а также зерен пшеницы, в различной степени пораженных грибами рода *Fusarium spp.*

Введение

Метод ГРВ Биоэлектрографии, основанный на эффекте Кирлиан, позволяет оценивать состояние абиотических и биотических составляющих экологических систем в реальном масштабе времени. Современный программно-аппаратурный комплекс «ГРВ Камера» дает возможность регистрировать и анализировать характеристики газоразрядного свечения [1], индуцированного у организмов и у их структур, в том числе у биологических жидкостей, природных вод, почв, грунтов, включая химически загрязненные.

Исследование характеристик ГРВ свечения растений - одно из интереснейших направлений ГРВ биоэлектрографии. Первые опыт исследования в этой области принадлежит А.Г. Гурвичу [2] и С.Д. Кирлиан [3]. В.А. Лысков [4] выполнил исследование по оценке взаимовлияния растений методикой ГРВ.

О.А. Буадзе с соавторами [5] изучено влияние гербицида 2,4-Д на физиологическое состояние 7-дневных проростков кукурузы с последующим воздействием витамина В2 как защитного эффекта. Данные Словенских исследователей [6,7] показали, что по характеристикам ГРВ-изображений (площадь свечения, мощность шумовой компоненты, коэффициент формы и др. [1]) можно различить больные и здоровые ягоды винограда, листья, плоды яблони, разные сорта растений. Однако оказалось невозможным выявить различия между растениями, выращенными с использованием минерального и органического питания [8].

Необходимо отметить, что применение различных технических средств для исследования кирлиановского эффекта, а также отсутствие стандартных адаптивных методик получения и обработки газоразрядных изображений существенно затрудняет сравнение и интерпретацию научных данных, полученных разными исследователями.

Цель исследований

Разработка адаптивных методик подготовки биологических проб, регистрации и обработки ГРВ-сигнала, получаемого при взаимодействии биологических объектов (БО) с переменным ЭМП высокой напряженности на основе метода ГРВ Биоэлектрoграфии.

Задачи исследований

Разработка способов регистрации (подбор заземляющих электродов, режимов работы прибора) и программной обработки (фильтрация шума и выявление информативной компоненты) компьютерных отображений газоразрядного свечения растений на основе метода ГРВ Биоэлектрoграфии.

Апробация ГРВ методики исследования характеристик получения и обработки компьютерных газоразрядных отображений коры и древесины побегов деревьев и кустарников путем сравнения характеристик возбужденной оптоэлектронной эмиссии, полученной с контрольной (незараженной) древесины

ильмовых и древесины, зараженной фитопатогенным грибом *Graphium ulmi Schwazz* [сумчатая стадия - *Ophiostoma ulmi (Buism.) Nannf.*].

Апробация ГРВ методики получения и обработки газоразрядных отображений свечения семян растений на примере сравнения характеристик компьютерных отображений газоразрядного свечения зерновок пшеницы, имеющих различную степень пораженности грибами рода *Fusarium* - возбудителями фузариоза колоса.

Материалы и методы исследований

Материалом для исследований служили:

Отрезки однолетних побегов вяза шершавого *Ulmus glabra Huds.* длиной 100 мм толщиной 5 мм. Одной пробой для ГРВ анализа служили: фрагменты коры и древесины длиной 5 мм.

Одиночные цельные непроращенные зерна пшеницы

Использованные методы исследований:

Методика оценки состояния БО на основе технологии ГРВ. Для инициализации ГРВ-сигнала с поверхности растений был использован плоский заземляющий электрод, обеспечивающий фиксацию объекта и устойчивую экспозицию газового разряда (рис. 1). Экспериментальным путем выявлены оптимальные режимы работы прибора (диапазон напряжения – «1» для побегов и «3» - зерен, время экспозиции газового разряда – 0,5с) и программной обработки газоразрядных отображений побегов древесных растений и зерен (минимальная площадь удаляемой шумовой компоненты [1] – 30 пикселей, уровень фона [1] – 220 для побегов и 250 для зерен по шкале яркости Windows в диапазоне «0» абсолютно черное до 255 «абсолютно белое». (Яркость изображения ГРВ сигнала на ПЗС-матрице фиксировалась в видеокамере 8-разрядным двоичным кодом). Был определен ряд параметров ГРВ сигнала, являющихся наиболее чувствительными к изменению состояния зерна. Разработан новый параметр оценки степени биологического повреждения участка побега дерева (S_{in}) –

соответствующий площади свечения внутреннего контура поперечного разреза участка побега («внутренняя корона»), измеряемый в пикселях (Рис. 2).

Стандартные методики фитопатологической оценки использовали для контроля состояния растительных организмов [9].

Статистические методы анализа и обработки данных: экспериментальные данные обрабатывали с использованием методов параметрической (t-критерий, коэффициент корреляции) и непараметрической статистики (критерий Манна-Уитни, коэффициент корреляции Спирмана), реализованные в программе Statistica 6.0 [10].

Результаты исследований

На основе разработанных адаптивных методик проведены следующие исследования по влиянию внешней среды на состояние биологических объектов:

1) Исследование по применению метода ГРВ для оценки состояния древесины однолетних побегов вяза, зараженной грибом *G. ulmi*.

Анализ газоразрядных визуализированных изображений (ГРВ - анализ) инфицированных отрезков стебля (табл.1) со стандартным фитопатологическим контролем (табл. 2) осуществлен на 10-е и 20-е сутки после искусственной инокуляции стебля (инокуляция с 33,2 и 59,6 млн. конидий / мл стерилизованной воды).

Состояние инфицированных стеблей ослаблено по сравнению с неинфицированными (табл. 3). Средний прирост боковых почек инфицированного стебля меньше ($3,9 \pm 0,3$ и $3,8 \pm 0,5$ см), чем у неинфицированных ($5,6 \pm 0,9$ см). Площадь газоразрядного свечения инокулированной древесины (86 ± 17 и 109 ± 25 пикселей) больше, чем у неинокулированной (54 ± 16 пикселей). При увеличении количества конидий, инокулированных в стебель, площадь газоразрядного свечения возрастает.

2) Применение метода ГРВ для оценки состояния зерновок пшеницы, пораженной возбудителем фузариоза колоса.

Изучали характеристики ГРВ-сигнала, полученные у зерен пшеницы, не имеющих видимых признаков поражения «внешне здоровые» (Группа 1), имеющих слабую (Группа 2) и сильную (Группа 3) степень пораженности фузариозом.

Установлено (табл.4), что внешне здоровые зерна характеризуются максимальным значением параметров ГРВ-изображения: распределением яркости, коэффициентом формы и трехмерной фрактальностью по сравнению инфицированными зерновками. ГРВ-изображения внешне здоровых зерновок отличаются большей изрезанностью контура и разнообразием спектра яркости, чем ГРВ-изображения инфицированных зерновок.

Корреляционный анализ (табл.5) не выявил значимой связи (r) ГРВ параметров и размера зерновок. Различия параметров ГРВ изображений обусловлено состоянием зерновок.

Обсуждение результатов

Наблюдение статистически значимых различий по ГРВ параметру S_{in} , отражающему характеристики «внутренней короны» свечения, представляется вполне логичным, если принять во внимание биологию патогена. Известно, что механизм поражения растения вяза заключается в закупорке сосудов конидиями, выделением токсина, вызывающего аномальный рост клеток паренхимы (основной ткани растений), также приводящий к закупорке ксилемы (водопроводящей ткани растений), и выделением патогеном фермента, вызывающего деградацию ткани ксилемы, что в конечном итоге приводит к побурению сосудистого кольца, а затем и срединной части ветки [11]. Механическое нарушение клеточной мембраны, обуславливающего плохую проницаемость для ионов электролитов, а также гипертрофия зараженных растительных тканей растения хозяина, сказывается на измерении электрических характеристик (повышении электропроводности растительных тканей [12]. Известной является связь электропроводности объектов и характеристик

газоразрядных изображений этих объектов [13]. Очевидно, что подобное биологическое повреждение даже на ранней (до появления симптомов побурения сосудистого кольца) стадии может приводить к изменению характеристик электрической проводимости растения и, следовательно, характеристик оптоэлектронной эмиссии (ГРВ-отображений коры и древесины дерева). Это подтверждается результатами исследований [14] где показано, что механическое воздействие (разрез), нарушающее целостность листьев растений, неизбежно вызывает усиление вызванной оптоэлектронной эмиссии в области повреждения. Поэтому усиление площади свечения внутренней короны (S_{in}) выглядит закономерным следствием повреждения растений вяза грибом *G. ulmi*.

Изменение параметров ГРВ свечения зерен с увеличением степени пораженности зерен также объяснимо с позиции биологии патогена. Поражение зерна возбудителем фузариоза колоса снижает массу зерна, а также вызывает появление щуплости зерна [15]. Изменение морфологических характеристик и показателей жизнеспособности зерен (прежде всего влажности) [16] неизбежно сказывается на процессах формирования газоразрядного свечения вокруг биологического объекта, что, в конечном итоге, приводит к изменению характеристик ГРВ изображений зерен.

Выводы

Повреждающее воздействие фитопатогенного гриба *G. ulmi* на древесину побегов вяза сопровождается изменением характеристик газоразрядного свечения (увеличением площади ГРВ свечения внутри контура поперечного разреза побега).

Повреждающее воздействие фитопатогенных грибов рода *Fusarium* на зерна пшеницы сопровождается снижением значений параметров ГРВ свечения: коэффициента формы, распределения яркости, трехмерной фрактальности, характеризующих жизнеспособность зерна.

Таким образом, метод ГРВ позволяет визуализировать и анализировать повреждения растений, вызванные фитопатогенными организмами на ранних стадиях развития болезни, а также служить дополнительным инструментом для семенного контроля.

Работа выполнена при поддержке Конкурсного центра фундаментального естествознания Минобробразования России (Номер гранта М04-3.5.К-48).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коротков К.Г. Физические механизмы и методические принципы построения систем ГРВ Биоэлектрографии. // Изв. вузов. Приборостроение. 2005. Т. 48, №11.
2. Гурвич А. Г. Теория биологического поля. М.: Госиздат, 1944. 125с.
3. Кирлиан С. Д., Кирлиан В. Х. В мире чудесных разрядов. М.: Знание, 1964. 40с.
4. Лысиков В. А. Метод фотографирования биологических объектов. Использование методов биофизики в селекционно-генетических исследованиях. Кишинев. 1960. 186с.
5. Буадзе О. А., Коротков К. Г., Ратман П. А. Изучение влияния гербицида 2,4Д на растительный организм с последующим защитным эффектом витамина В2 методом поверхностной газоразрядной визуализации (эффект Кирлиан) // Сообщения АН ГССР. 1989. Т.135, N 1. С. 193-196.
6. Skocaj D., Kononenko I., Tomazic I., Korozec-Koruza Z. Classification of grapevine cultivars using Kirlian camera and machine learning // Res. Rep. Biot. Fac. UL – Agriculture. 2000. Vol. 75(1). P. 133-138.
7. Kononenko I., Sadikov A. Vitality of plants through coronas of fruits and leaves // Proc of VI International Scientific congress on GDV Bioelectrography: Science, Information, Spirit. Saint-Petersburg. 2002. P. 45-46.
8. Sadikov A., Kononenko I. Latest Experiments with GDV Technique in Agronomy // Proc. of 6th International Multi-Conference Information Society IS'. 2003. Ljubljana, Slovenia. P. 110-113.
9. Попкова К. В. Практикум по сельскохозяйственной фитопатологии. М.: Колос, 1976. – 336 с.
10. Боровиков В. STATISTICA: искусство обработки данных на компьютере. Для профессионалов. – СПб., Питер, 2001. –656с.
11. Holmes F. W., Heybroek H. M. Dutch Elm Disease – The Early Papers. APS Press, St Paul, MN. 1990. 324 p.
12. Колисниченко Г. С. Электрофизиологические параметры как индикаторы при диагностике заболеваний некоторых сельскохозяйственных культур. Автореф. на соиск. уч. степ. к.б.н.. Кишинев. 1969. 12с.
13. Коротков К. Г. Основы ГРВ Биоэлектрографии. Л.: Изд-во СПбГУИТМО, 2001. 360 с.
14. От эффекта Кирлиан к биоэлектрографии. Сборник. Ред. К.Г. Коротков. СПб.: Изд-во Ольга, 1998. 340с.

15. Саркисов А. Х. Микотоксикозы. М.: Государственное издательство сельскохозяйственной литературы, 1954. 216с.
16. Коротков К. Г. Эффект Кирлиан. СПб.: Изд-во Ольга, 1995.

Рекомендована кафедрой
проектирования компьютерных
систем

Поступила в редакцию

Таблица 1

Площадь свечения инфицированной и неинфицированной древесины стебля однолетнего побега вяза шершавого *Ulmus glabra Huds.*, инокулированного *Graphium ulmi Schw.*, газоразрядная визуализация, пиксели

Содержание инфицирующих конидий <i>Graphium ulmi</i> в водной суспензии, млн /мл	Площадь свечения	
	неинфицированная древесина	инфицированная древесина
-	54±16	-
33,2	-	86±17; *p ₁₂ =0,020
59,6	-	109±25; *p ₁₃ =0,001

* Статистически значимые различия (уровень значимости $p < 0,05$ [Вероятность отсутствия различия между исследуемыми группами объектов менее 5%]) по сравнению с контролем (неинокулированная древесина)

Таблица 2

Рост мицелия *Graphium ulmi Schw.* в стебле однолетнего побега вяза шершавого *Ulmus glabra Huds.*, 10-сутки

Содержание инфицирующих конидий <i>G. ulmi</i> в водной суспензии, млн /мл	Объем зараженной древесины, мм ³	Рост мицелия гриба, мм
-	0	0
33,2	110,0±17,2	5,3±0,5
59,6	172,0±22,2	8,7±0,7

Таблица 3

Число активных боковых почек и прирост боковых почек стеблей однолетних побегов вяза шершавого *Ulmus glabra Huds.*, инфицированных *Graphium ulmi Schw.*, 20-е сутки

Содержание инфици-	Число активных	Масса 10 от-	Средний
--------------------	----------------	--------------	---------

рующих конидий <i>G. Ulmi</i> в водной суспензии, млн /мл	боковых почек, отрезок стебля длиной 10 см, %	резков стебля, длина 10 см, г	прирост активных боковых почек, см
-	100,0	1,10±0,10	5,6±0,9
33,2	97,7	0,70±0,16	3,9±0,3
59,6	96,0	0,65±0,09	3,8±0,5

Таблица 4

Характеристики газоразрядного свечения внешне здоровых зерен

Triticum aestivum L. и зерен, пораженных фузариозом

Параметры ГРВ-изображений	1. Внешне здоровые зерна	2. Слабопораженные зерна	3. Сильнопораженные зерна	*p (Уровень значимости различий между группами зерен)

1. Распределение яркости	$0,289 \pm 0,019$	$0,261 \pm 0,015$	$0,233 \pm 0,018$	$p_{12}=0,023$ $p_{13}=0,0001$ $p_{23}=0,024$
2. Коэффициент формы	$2,47 \pm 0,30$	$1,69 \pm 0,14$	$1,51 \pm 0,14$	$p_{12}=0,00003$ $p_{13}=0,000001$
3. Трехмерная фрактальность	$2,446 \pm 0,049$	$2,352 \pm 0,052$	$2,378 \pm 0,025$	$p_{12}=0,001$ $p_{13}=0,002$

Таблица 5

Корреляционный анализ размера зерен *Triticum aestivum* L.
с характеристиками ГРВ-изображений

Параметры ГРВ-изображений	Распределение яркости	Коэффициент формы	Трехмерная фрактальность
Значения коэффициента корреляции r	0,06	0,28	-0,11

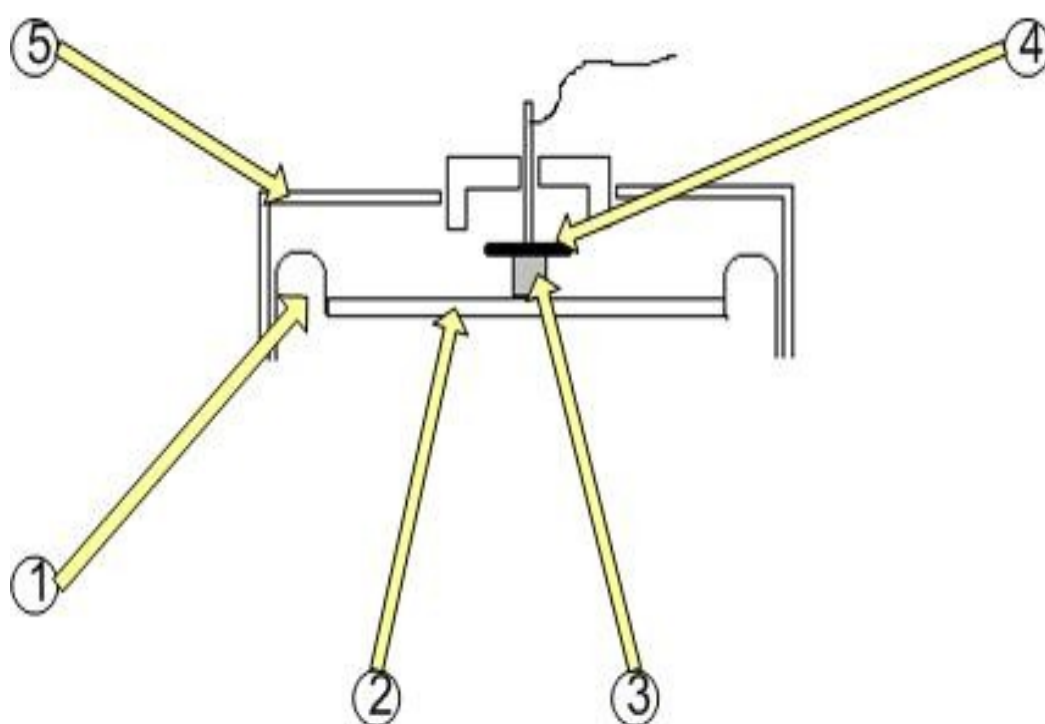


Рисунок 1. Схема заземления биологического объекта электродом: 1 – корпус прибора, 2 – стекло, 3 – объект, 4 – электрод, 5 – крышка.

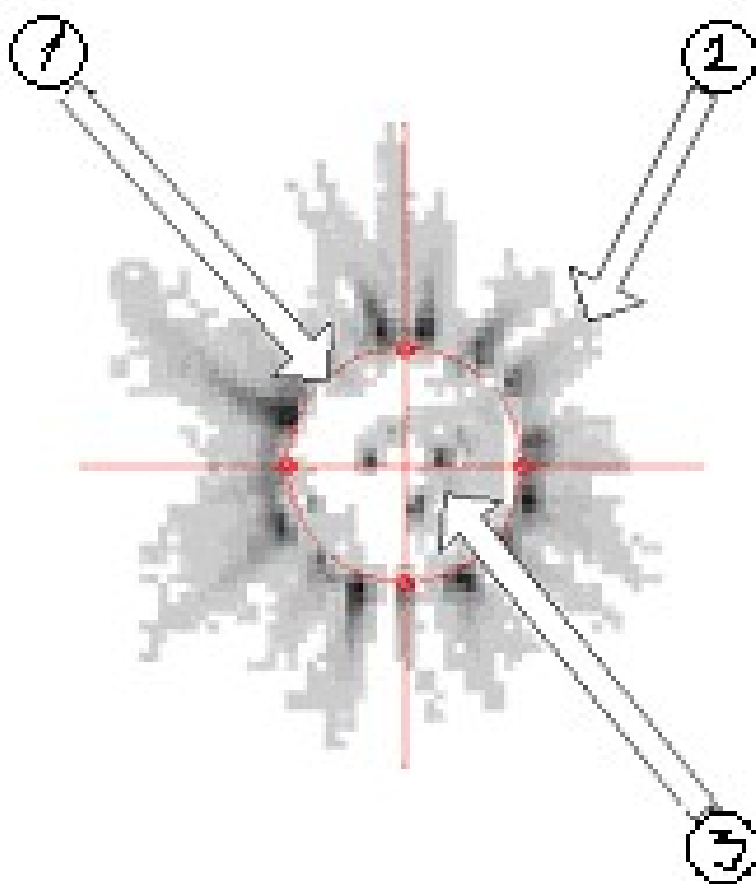


Рис. 2. Компьютерное отображение газоразрядного свечения коры и древесины однолетнего побега вяза: 1 – граница контура поперечного разреза побега, 2 - «Внешняя корона» отображения газового разряда, 3 – отображение газоразрядного свечения внутри контура поперечного среза побега