Крылов Б.А., Гришенцев А.Ю., Величко Е.Н. Методы регистрации, обработки и анализа изображений / Учебно-методическое пособие. – СПб: СПб ГУ ИТМО, 2010. – 60 с.

В данном учебно-методическом пособии излагаются основные принципы обработки и анализа изображений на примере работы программно-аппаратного комплекса газоразрядной визуализации (ГРВ).

Учебно-методическое пособие предназначено для использования в учебном процессе по курсу обучения магистров «Технологии разработки программного обеспечения САПР», обучающихся по направлению 210202.65.08 «Проектирование и технология электронных средств».

Рекомендовано к печати ученым советом факультета КТиУ от 09.02.2010 г., протокол № __.

В 2009 году Университет стал победителем многоэтапного конкурса, в результате которого определены 12 ведущих университетов России, которым присвоена категория «Национальный исследовательский университет». Министерством образования и науки Российской Федерации была утверждена Программа развития государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики» на 2009–2018 годы.

© Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, 2010

© Крылов Б.А., Гришенцев А.Ю., Величко Е.Н., 2010

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ВВЕДЕНИЕ 4
2. ОПИСАНИЕ МЕТОДА ГРВ 5
2.1. Краткое описание метода ГРВ 5
2.2. Условия эксплуатации и техника безопасности 6
2.3. Физические принципы формирования изображений при газоразрядной визуализации 7
2.4. Основные информативные признаки объектов, проявляющиеся при Газоразрядной Визуализации. 11
2.5. Принципы построения программно-аппаратных ГРВ комплексов 12
2.6. Структура программного ГРВ комплекса 13
3. ГРВ ОБОРУДОВАНИЕ 16
3.1. «ГРВ Камера» 16
3.2. «ГРВ Компакт» 18
3.3. «ГРВ Минилаборатория» 19
4. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ МЕТОДОМ ГРВ 21
4.1. Принципы организации научных исследований 21
4.2. Факторы, дестабилизирующие процесс ГРВ измерений 24
4.3. Общие рекомендации по стандартизации процесса измерений 29
5. ПРИНЦИПЫ ОБРАБОТКИ ГРВ ИЗОБРАЖЕНИЙ 30
5.1. Основные принципы компьютерной обработки изображений 30
5.2. Методы компьютерной обработки изображений 32
5.3. Обработка ГРВ изображений 37
5.4. Выявление полезного сигнала и фильтрация шумового фона изображения 39
5.5. Вычисление значимых топологических характеристик изображения 44
5.6. Псевдоокрашивание изображения ГРВ-граммы 45
5.7. Алгоритмы расчета параметров ГРВ-граммы 46
6. МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ И ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА 51
6.1. Основные принципы и методы анализа данных 51
6.2. Параметрические методы обработки данных. Тест Стьюдента. 53
6.3. Критерий Манна-Уитни (сравнение двух выборок). 54
7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ 56
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 57

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящем учебно-методическом пособии рассмотрены основные принципы обработки и анализа изображений на примере научного направления – метода газоразрядной визуализации (ГРВ), или ГРВ биоэлектрографии, которое развивается на кафедре проектирования компьютерных систем Санкт-Петербургского Государственного университета информационных технологий, механики и оптики более 10 лет.

Метод ГРВ 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 деятельность большой группы сотрудников, студентов и аспирантов кафедры проектирования компьютерных систем.

В первой части настоящего пособия рассматриваются основы метода газоразрядной визуализации, представлены основные характеристики линейки ГРВ приборов, стандартная методика проведения измерений.

Во второй части пособия представлены основные принципы компьютерной обработки изображений, анализа газоразрядных изображений, методы статистического анализа данных.

Настоящее учебно-методическое пособие позволит студентам получить теоретические сведения о принципах обработки, хранения и анализа изображений. С помощью руководства студенты также могут получить практические навыки работы с ГРВ оборудованием.

2. ОПИСАНИЕ МЕТОДА ГРВ

2.1. Краткое описание метода ГРВ

Принципы регистрации цифровых газоразрядных изображений с последующей их компьютерной обработкой и анализом были впервые предложены и развиты д.т.н. Коротковым К.Г. в работах [1–4]. Под его руководством на кафедре проектирования компьютерных систем Санкт-Петербургского Государственного университета информационных технологий, механики и оптики разработан прибор газоразрядной визуализации «ГРВ Камера», предназначенный для регистрации статических и динамических газоразрядных изображений. Прибор сертифицирован Комитетом по Новой Медицинской Технике МЗ РФ в качестве прибора медицинского назначения и выпускается серийно (производитель ООО «Биотехпрогресс», СПб).

Свечение объектов различной природы в электромагнитных полях высокой напряженности было обнаружено более 200 лет назад и с тех пор постоянно привлекало внимание исследователей [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].

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.

Приборы газоразрядной визуализации были созданы для профессиональных научных и прикладных исследований биологических и небиологических объектов окружающей среды и предназначены для регистрации оцифрованных изображений газоразрядного свечения (ГРВ-грамм), возникающего вокруг объектов исследования различной природы при помещении их в электромагнитное поле высокой напряженности.

Приборы ГРВ работают в комплексе с компьютером. Съемка ГРВ-грамм и управление режимами работы оборудования осуществляется с помощью программы «GDV Capture», а обработка получаемых изображений производится с использованием программного обеспечения «GDV Software». В частности, обработка получаемых серий ГРВ-грамм производится в программе «GDV Scientific Laboratory», которая позволяет рассчитывать параметры изображений и выявлять статистически достоверное различие между выборками, что в значительной степени облегчает интерпретацию получаемых результатов.

ГРВ оборудование позволяет регистрировать как статические, так и динамические ГРВ-граммы в различных режимах по длительности и по мощности электромагнитного поля воздействующего на объект исследования.

2.2. Условия эксплуатации и техника безопасности

- Рекомендуется эксплуатировать приборы ГРВ при температуре от + 10ºС до + 35ºС.
- Не рекомендуется работа с прибором ГРВ на расстоянии менее 50 см от компьютера.
- Прибор, находившийся при температуре ниже 0ºС, разрешается включать в отапливаемом помещении только через 3 часа.
- Работа с приборами ГРВ исключает возможность одновременного использования на компьютере других видеоустройств (TV-тюнер, видеокамера, и т.п.).
- Рекомендуется хранить прибор в упаковке изготовителя в закрытом, отапливаемом, вентилируемом помещении при температуре воздуха от +5ºС до +40ºС с относительной влажностью не более 80% (условия хранения 1 по ГОСТ 15150). Воздух в помещении не должен быть насыщен топливным газом или другими активными коррозионными агентами.

2.3. Физические принципы формирования изображений при газоразрядной визуализации

Для понимания принципов работы приборов газоразрядной визуализации (ГРВ) рассмотрим принципиальную схему устройства прибора (рис.2.1).

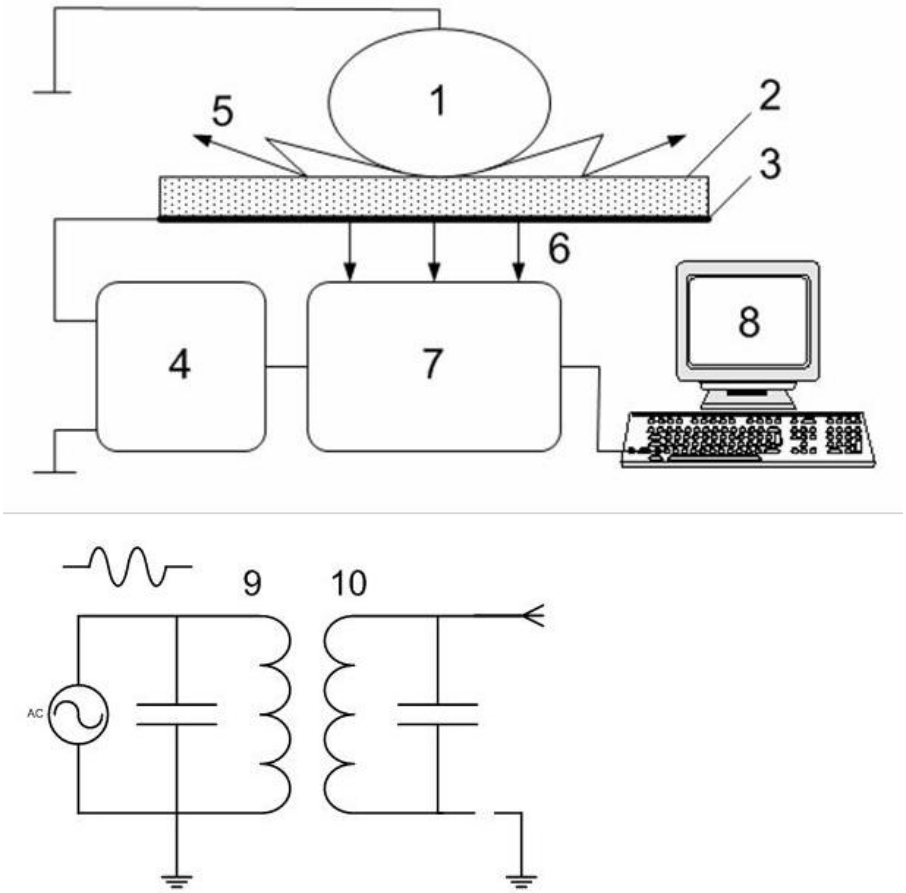
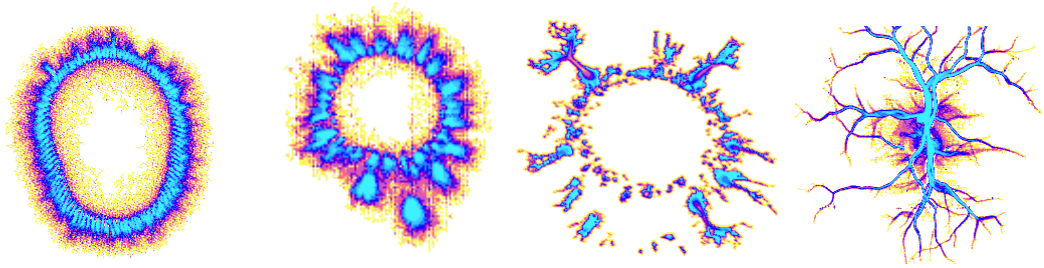


Рис.2.1. Принципиальная схема метода газоразрядной визуализации (ГРВ). 1 - исследуемый объект; 2 - диэлектрическая пластина (кварц); 3 - прозрачное токопроводящее покрытие; 4 - генератор импульсов; 5 - скользящий газовый разряд; 6 - свечение разряда; 7 - оптическая система и ПЗС-камера; 8 – компьютер; 9, 10 – система связанных LC контуров, образованных элементами схемы прибора и эквивалентной емкостью исследуемого объекта.

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.2.2 приведены изображения газоразрядного свечения пальцев рук человека, типичные для различных состояний здоровья. У практически здорового человека (рис. 2.2 А) свечение равномерное и яркое по всей окружности пальца. У больного (в данном примере кардиологического) свечение характеризуется меньшей яркостью и наличием провалов свечения (рис. 2.2 Б), в то время как у человека в состоянии физиологического стресса (рис. 2.2 В) это свечение имеет только ряд отдельных выбросов. На этом же рисунке приведено характерное свечения капли жидкости (рис. 2.2 Г), несущее информацию о ее физико-химических свойствах.



А. Б. В. Г.

Рис. 2.2. Примеры ГРВ-грамм. А – палец руки практически здорового человека; Б – палец руки кардиологического больного; В – палец руки человека в стрессе; Г – капля жидкости.

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 вычисляется ряд параметров, которые будут подробно описаны далее.

При всем многообразии конкретных технических решений сущность процесса визуализации может быть сведена к некоторой теоретической схеме [17]. 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 [17-19], 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 [20].

При исследовании объектов различной природы, как биологических (БО), так и неорганических, извлечение информации о состоянии объекта происходит за счет процессов нескольких уровней [17].

- Объект включен в цепь протекания электрического тока в системе связанных LC контуров (рис.2.1), 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. Вначале 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, 21], отражающими влияние различных параметров системы.

$$L = k\, C^2 U^5 V^{0,25} \qquad (2.1)$$

где C {Ф/см^2}- 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)*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) [17]:

$$L = -40 + 8{,}5U - 10\ln d/d_0, \qquad (2.2)$$

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) [1]. Для ГРВ используется лишь слаботочная – 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.2.2).

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 [1] 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 инициирующих медленных электронов, что препятствует развитию электронных лавин; поглощением вторичных электронов, рожденных в лавине; искажением электрического поля за счет отрицательных ионов.

2.4. 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 инициирующих 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 TU показало, что наилучшее качество выявления металлических включений в толще диэлектрика наблюдается при 5мкс <TU<15мкс. 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 10-5с выделяемой в разряде мощности оказывается недостаточно для сколь-нибудь заметного температурного воздействия на объект. Это свидетельствует о невозмущающем 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 [1,5]. 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.

2.5. 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 250x350x80 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.

2.6. Структура программного ГРВ комплекса

Программный ГРВ комплекс работает в ОС Windows. Обобщенная структура программного комплекса представлена на рис. 2.3. Она состоит из нескольких подсистем [17].

Информационная подсистема предназначена для автоматизированного ведения базы данных (БД) исследуемых объектов и испытуемых, а также организации взаимосвязей между всеми программными блоками. Посредством 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.

Рис.2.3. Структура программно-аппаратного ГРВ комплекса.

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.

Разработанный в СПбГУ ИТМО программно-аппаратный ГРВ комплекс представляет собой систему, использующую последние достижения электроники, современные методы обработки изображений и формирования 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.

3. ГРВ ОБОРУДОВАНИЕ

ГРВ оборудование было разработано на основе метода газоразрядной визуализации и включает в себя линейку ГРВ приборов и вспомогательной аппаратуры. Выпускается три модификации ГРВ приборов: «ГРВ Камера», «ГРВ Компакт» и «ГРВ Экспресс». Также выпускаются вспомогательные средства для исследования объектов окружающей среды, входящие в комплектацию набора «ГРВ Минилаборатория». Прибор «ГРВ Экспресс» предназначен для одновременного снятия ГРВ-грамм десяти пальцев рук человека и в настоящем пособии рассматриваться не будет.

3.1. «ГРВ Камера»

Прибор «ГРВ Камера» (рис. 3.1) предназначен для исследования объектов различной природы. Данный прибор предоставляет следующие возможности:

- наблюдать изменения состояния организма человека во времени (мониторинг состояния);
- определять психологический профиль личности;
- оценивать уровень тревожности и активации;
- исследовать объекты различной природы (растения, минералы, пищевые продукты) и жидкости различной консистенции (кровь, воду, эфирные масла) и т.д.

На рисунке представлен общий вид прибора с обозначенными внешними элементами.

Внешние элементы прибора «ГРВ Камера»:

1. электрод;
2. регистратор;
3. индикаторы состояния прибора:

«зеленый» – прибор включен,

«красный» – подача разряда;

4. кнопка «STOP» – для прекращения разряда;
5. кнопка «включение/выключение» прибора «ГРВ Камера»;
6. разъем «OUTPUT» для подключения ГРВ приставок («ГРВ Акусканер», «ГРВ +») к прибору «ГРВ Камера»;
7. разъем питания «12V» для работы с прибором от сети через AC/DC преобразователь 110-240В/12В или от аккумуляторной батареи с напряжением 12V;
8. разъем заземления «⏚» для подключения тест-объекта или реперного электрода;
9. разъем «USB1» для подключения прибора «ГРВ Камера» к компьютеру через USB кабель (для передачи изображения и управляющих сигналов);

10. разъем «USB2» для подключения видео USB кабеля от ГРВ приставок к прибору «ГРВ Камера».

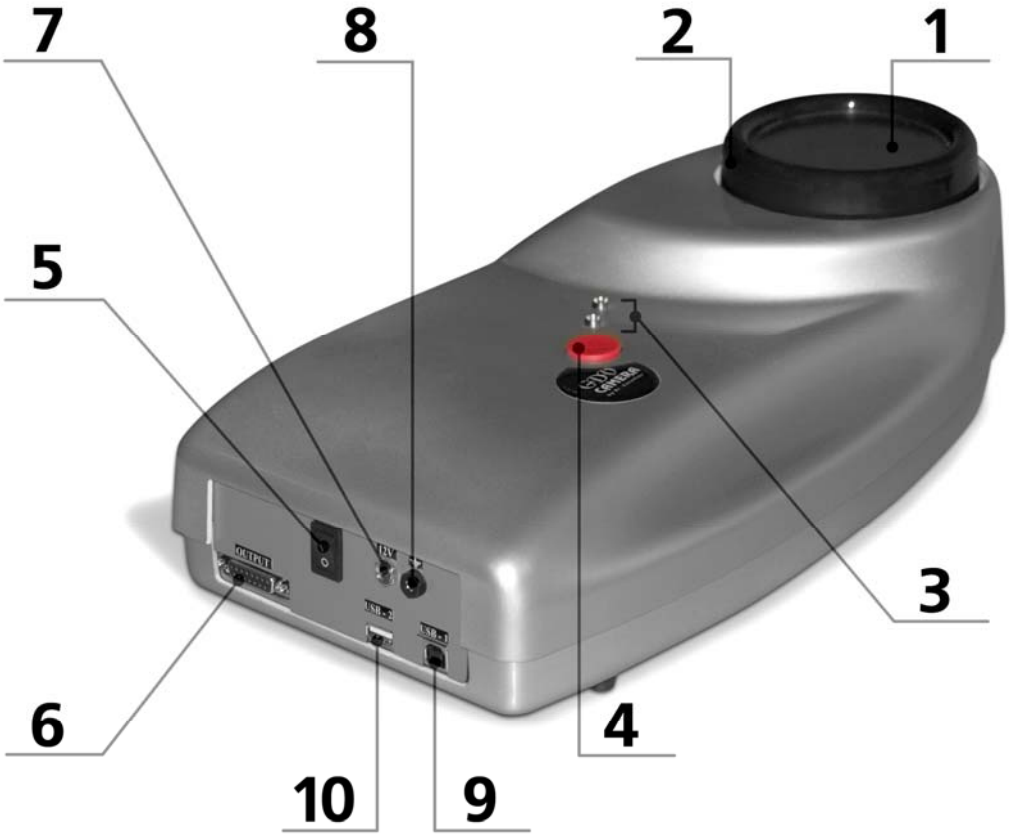


Рис.3.1. Общий вид прибора «ГРВ Камера».

Технические характеристики прибора:

- Частота следования импульсов – 900-1100 Гц.
- Длительность одиночного импульса не более 10 мкс.
- Время автоматической экспозиции - 0,5/1,0/2,0/32 с.
- Максимальная мощность, потребляемая прибором:

- при питании от сети переменного тока - не более 60 Вт;
- при питании от аккумулятора – не более 40 Вт.

- Масса прибора в комплекте не более 5 кг.
- Габаритные размеры: не более 200×380×130 мм.
- Управление работой прибора осуществляется от компьютера через USB порт.
- Средняя наработка на отказ – не менее 4000 часов.

3.2. «ГРВ Компакт»

Прибор «ГРВ Компакт» (рис. 3.2) предназначен для регистрации статических изображений газоразрядного свечения (ГРВ-грамм), возникающего вокруг объектов в электромагнитном поле высокой напряженности. Прибор позволяет регистрировать ГРВ-граммы пальцев рук человека, а также жидкостей высокой электропроводности.

Внешние элементы прибора:

1. электрод;
2. регистратор;
3. индикаторы состояния прибора:

«зеленый» – прибор включен;

«красный» – разряжен аккумулятор, если прибор им оснащен;

4. кнопка «STOP» для прекращения разряда;
5. переключатель режимов:

«ON» – верхнее положение переключателя, прибор включен;

«OFF» – среднее положение переключателя, прибор выключен;

«CHARGE» – нижнее положение переключателя, для зарядки аккумулятора;

6. разъем «12V» для работы с прибором через AC/DC-преобразователь 110-240В/12В или для зарядки аккумулятора;
7. разъем заземления «⏚» для подключения тест-объекта или реперного электрода;
8. USB-порт.

Рисунок 3.2. Общий вид прибора «ГРВ Компакт»

Технические характеристики прибора:

- Амплитуда генерируемых высоковольтных импульсов не более 5 кВ.
- Частота следования импульсов – 1024 Гц.
- Максимальная потребляемая мощность должна быть не более:

– при питании от сети переменного тока – 40 Вт.

– при питании от аккумулятора – 40 Вт.

- Масса анализатора в комплекте не более 4,5 кг.
- Габаритные размеры не более – 250×200×130 мм.
- Средняя наработка на отказ не менее – 2000 ч.

3.3. «ГРВ Минилаборатория»

Набор «ГРВ Минилаборатория» предназначен для исследования объектов различной природы с помощью прибора «ГРВ Камера». «ГРВ Минилаборатория» дает широкие возможности по разработке индивидуальной методики проведения экспериментов, в зависимости от характеристик исследуемых объектов и поставленных целей.

Комплектация набора «ГРВ Минилаборатории» представлена на рисунке 3.3.

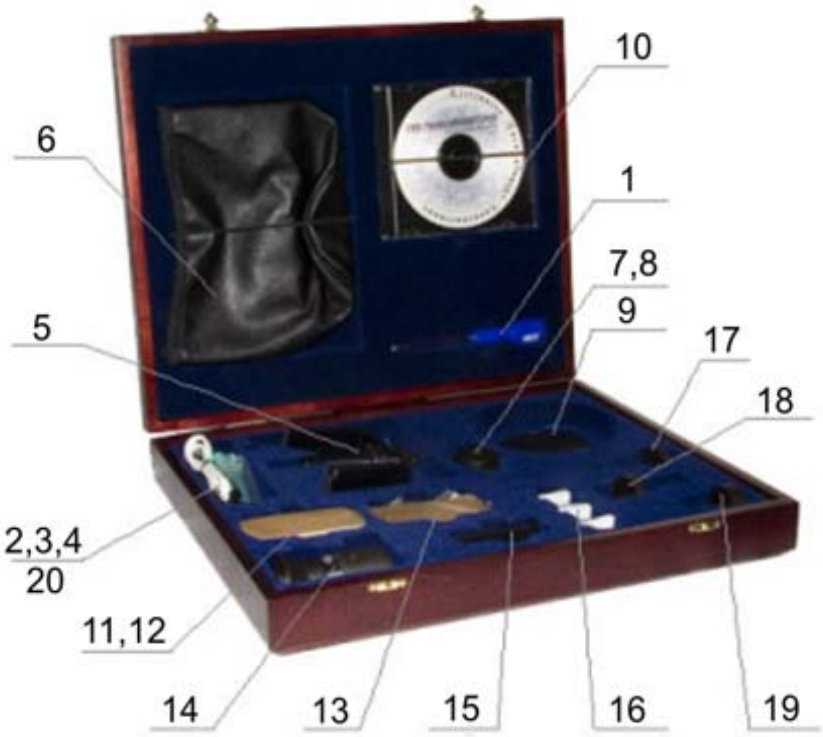


Рис. 3.3. Внешний вид набора «ГРВ Минилаборатория»

Комплектация набора «ГРВ Минилаборатория»:

1. отвертка;
2. шприц инсулиновый;

3. шприц со стеклянной насадкой;
4. шприц с глубоким заземлением;
5. установка для съемки больших объектов;
6. затемняющий колпак на установку для съемки больших объектов;
7. диэлектрическая часть фиксатора для стеклянных стаканчиков;
8. металлическая часть фиксатора для стеклянных стаканчиков;
9. заземляющая пластина для съемки плоских объектов;
10. презентационный диск;
11. пластина для калибровки толщиной 1 мм;
12. пластина для калибровки толщиной 2 мм;
13. стекло с лункой толщиной 3 мм;
14. держатель для шприца;
15. светозащитный колпак для держателя шприца;
16. стеклянный стаканчик для жидкости;
17. электрод с плоским держателем;
18. электрод с подвижной длинной иглой;
19. электрод с короткой иглой фиксированной длины;
20. единое заземление;
21. инструкция по эксплуатации;
22. транспортировочная тара;
23. упаковочная тара.

Установка со шприцем

Данная установка состоит из держателя для шприца (14) и одного из трех поставляемых с набором «ГРВ Минилаборотория» шприцев:

1. Шприц с глубоким заземлением (1) используется для исследования жидкостей с очень низкой электропроводностью (основные масла, нефтепродукты).

2. Шприц со стеклянной насадкой (2) используется в том случае, когда требуется высокая точность, которая обеспечивается благодаря возможности нанесения фиксированного объема жидкости непосредственно на поверхность стеклянной насадки с помощью дозатора. Кроме того, тонкий капилляр насадки не позволяет перемешиваться нанесенной капле со столбиком жидкости в самом шприце, что позволяет заменять исследуемую жидкость внутри шприца другой – модельной – близкой по физическим и химическим параметрам (например, вязкости, электропроводности, плотности). Это удобно при ограниченном количестве экспериментального материала (например, при исследовании крови). Однако этот шприц не рекомендуется для работы с жидкостями, имеющими низкую электропроводность.

3. При достаточном количестве исследуемой жидкости целесообразно использовать инсулиновый шприц (3), т.к. он наиболее удобен в применении.

Установка с лункой

Рекомендуется для исследования масел (в том числе эфирных), солода, различных эмульсий. При работе с данной установкой, исследуемая жидкость помещается в лунку кварцевой пластины [пластинка с лункой толщиной 3 мм (13)] и заземляется при помощи электрода (18 или 19). Обычно используют электрод с короткой иглой фиксированной длины (19). В тех случаях, когда требуется разный уровень погружения электрода в лунку, используют электрод с подвижной длинной иглой (18).

Установка со стеклянным стаканчиком

Рекомендуется для исследования порошков, почв, продуктов, но может применяться и для исследования различных жидкостей. Установка состоит из фиксатора для стеклянных стаканчиков (7, 8) и самого стеклянного стаканчика (16), в который помещается исследуемая жидкость или порошок.

Установка для исследования больших объектов

Применяется для исследования твердых объектов, имеющих линейные размеры больше размеров пространства под крышкой прибора ГРВ (зерновые культуры, растения, минералы, камни, пищевые продукты и т.д.).

Установка для исследования плоских объектов

Применяется для исследования твердых объектов, имеющих плоскую форму, мелкого зернового материала.

Установка для исследования небольших объектов

Применяется для исследования твердых объектов, имеющих линейные размеры меньше размеров пространства под крышкой прибора ГРВ (зерновые культуры, растения, минералы, камни, пищевые продукты небольшого размера и т.д.).

4. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ МЕТОДОМ ГРВ

4.1. Принципы организации научных исследований

Метод ГРВ открывает широкие перспективы проведения научных исследований, как по изучению влияния различных факторов на состояние человека, так и по изучению свойств жидкостей и материалов. Рассмотрим общие принципы организации этих работ.

Прежде всего, проведение научно-исследовательских работ, в частности, изучение стимулированного ГРВ свечения веществ и материалов, требует серьезной подготовки, аккуратности, тщательности,

неторопливости и знания принципов организации научного эксперимента. Научный эксперимент можно разделить на несколько стадий [5].

1. Планирование работ и составление детального протокола исследований.
2. Подготовка оборудования, методик, места проведения экспериментов.
3. Калибровка аппаратуры.
4. Проведение измерений.
5. Ведение протокола исследований и рабочего журнала.
6. Обработка результатов измерений.
7. Проведение статистического анализа данных.
8. Построение графиков и таблиц.
9. Анализ и осмысливание полученных результатов.
10. Подготовка отчета и научных статей.
11. Архивирование материалов эксперимента.

Каждая из этих стадий имеет самостоятельное значение, и тщательность ее выполнения определяет общий уровень проведения экспериментов. Рассмотрим эти этапы более внимательно.

Планирование работ и составление детального протокола исследований

Прежде чем приступать к исследованиям, необходимо тщательно продумать, каковы цели, задачи, и гипотеза исследований. После этого необходимо составить детальный протокол проведения исследований.

Для того, чтобы ограничить круг экспериментальных условий, необходимо опираться на гипотезу исследования, которая подлежит экспериментальному доказательству.

Например, при сравнении натуральных и синтетических ароматических масел была выдвинута гипотеза: «ГРВ свойства натуральных и синтетических масел отличаются, даже при одинаковом химическом составе». Эта гипотеза проверялась и подтвердилась путем статического анализа AVI файлов ГРВ свечения и сопоставления данных масс-спектрометрии. [5]

При планировании эксперимента важно также оценить факторы, которые могут повлиять на конечный результат. Например, изменение влажности или освещенности в помещении может существенно сказаться на результатах. Особенное сильное влияние оказывает прямой солнечный свет, интенсивность которого существенно выше интенсивности большинства искусственных источников.

Особым фактором является время. Мы должны иметь в виду, что практически все процессы на Земле находятся под влиянием различных ритмов. Это приводит к колебанию биофизических параметров и

характеристик многих процессов. Поэтому необходимо учитывать время суток проведения измерений, в частности, эксперименты по мониторированию проводить в одни и те же промежутки времени.

Подготовка оборудования, методик, места проведения экспериментов

Перед началом эксперимента все оборудование должно быть проверено и откалибровано. Методики не должны влиять друг на друга и не должны приводить к изменениям свойств исследуемого объекта или явления. Очень важно правильно организовать место проведения эксперимента.

Калибровка аппаратуры

Калибровка проводится периодически, в наиболее ответственных исследованиях перед каждой экспериментальной сессией, а также при получении необычных результатов.

Проведение измерений

Измерения проводятся по возможности с многократным повторением. Чем больше массив экспериментальных данных, тем надежнее статистические оценки результата. Целесообразно одни и те же измерения дублировать в разные дни, что позволяет оценить влияние внешних факторов на исследуемый процесс. Важно, чтобы при проведении экспериментов, требующих высокой точности, в помещении не находились посторонние люди, так как посторонний шум, разговоры, изменение состава воздуха и температуры в помещении могут также оказывать влияние.

Ведение протокола исследований и рабочего журнала

При проведении экспериментов совершенно обязательным является ведение экспериментального журнала. Отмечайте все детали и условия проведения эксперимента:

- дату, время;
- влажность воздуха, температура и давление;
- кто проводит эксперимент;
- условия проведения эксперимента, файл хранения данных;
- особые, необычные наблюдения.

Обработка результатов измерений

По возможности старайтесь обрабатывать данные непосредственно после проведения измерений. Это позволяет выявить возможные погрешности, неоднозначность данных, особенные результаты, и скорректировать эксперимент на последующих стадиях.

Обязательно сохраняйте исходные необработанные данные. На каком-то этапе Вам может понадобиться провести новую обработку, или

проверить правильность полученных результатов, для чего потребуются исходные данные.

Проведение статистического анализа данных

Для статистической обработки очень важно оценить характер статистического распределения данных. Также выбор того или иного критерия определяется условиями проведения эксперимента, о чем подробнее будет изложено ниже.

Построение графиков и таблиц

Особое внимание надо обращать на подготовку рисунков и графиков. Они должны иметь четкие обозначения единиц измерения и приведенных данных. Экспериментальные данные в большинстве случаев требуют обозначения статической вариабельности или погрешности.

Хорошо представленный график или рисунок существенно облегчает восприятие работы. Графики, в основном, гораздо более наглядны, чем таблицы. Подумайте, нельзя ли имеющиеся таблицы представить в виде графиков.

Анализ и осмысливание полученных результатов

Этап анализа результатов, как правило, занимает существенно большее время, чем этап экспериментального получения данных. На основании анализа часто возникает необходимость получения дополнительных данных.

Профессионально проведенный анализ экспериментальных данных позволяет выявлять новые закономерности в свойствах исследуемых объектов. При получении любых выдающихся результатов необходимо повторить эксперимент. Убедитесь, что это не экспериментальная погрешность, а действительность результат. В науке учитываются только воспроизводимые данные.

Без статистики и независимой воспроизводимости разными исследователями одних и тех же результатов они не могут являться признанными научными данными.

4.2. Факторы, дестабилизирующие процесс ГРВ измерений

При проведении любых измерений методом газоразрядной визуализации на получаемые результаты оказывают влияние различные дестабилизирующие факторы [23]. Среди этих факторов можно выделить общие, то есть относящиеся к измерениям на ГРВ приборах в целом, и частные, относящиеся только к измерениям с применением определенной экспериментальной установки, например, измерения со шприцом. В данном разделе приводятся основные дестабилизирующие факторы, которые необходимо учитывать при проведении всех экспериментальных исследований методом ГРВ.

Плохое заземление

При отсутствии надлежащего заземления прибора и компьютера, подключённого к нему, происходит накопление на них статического заряда, что с течением времени может приводить к разрядке накопившегося заряда. При длительных сериях измерений этот факт иногда приводит к самопроизвольному выключению или перезагрузке компьютера. Также при отсутствии заземления на регистрируемый сигнал оказывают влияние перепады напряжения в сети. Эти факторы влияют на стабильность газового разряда, а, следовательно, и получаемых ГРВ-грамм. На рисунке 4.1 приведен пример съемки при наличии и отсутствии заземления прибора ГРВ и персонального компьютера [23]. Очевидна разница в разбросе значений площади ГРВ-грамм внутри серии.

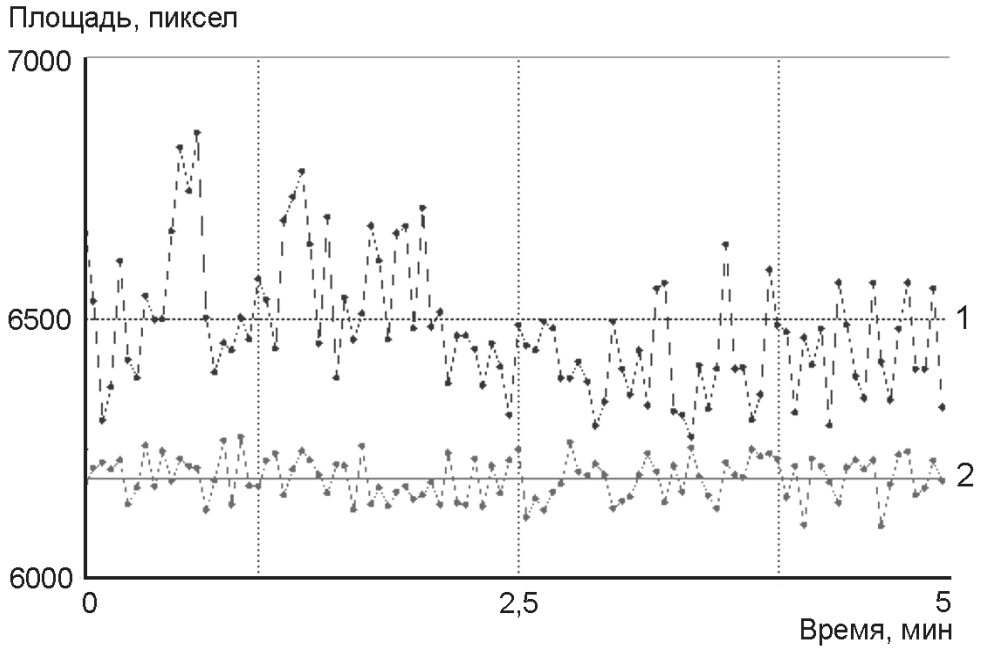


Рис. 4.1. Влияние заземления на разброс значений площади ГРВ-грамм: 1 - съемка без заземления; 2 - съемка с заземлением.

Заземление прибора позволяет избежать перечисленных выше эффектов. Также от подобных влияний можно избавиться, подключив прибор ГРВ к автономному источнику питания с выходным напряжением 12 В (например, автомобильному аккумулятору), и использовать ноутбук, работающий от собственного аккумулятора.

Недостаточная вентиляция

При использовании стандартной затемняющей крышки для ГРВ приборов, закрывающей электрод, не происходит необходимой вентиляции воздушного промежутка между крышкой и электродом. В результате происходит накопление озона, накопление которого также влияет на получаемые ГРВ-граммы и их параметры.

На рис. 4.2 приведены результаты сравнения измерений с вентиляцией и без нее. Вентиляция осуществлялась при помощи вентилятора, стоящего рядом с прибором ГРВ. На графике отображены средние значения площади ГРВ-грамм в сериях, разделенных на 4 группы. Каждая группа состояла из четырёх последовательных серий измерений с различными значениями емкостей подключенных конденсаторов по возрастанию: 14пФ, 23пФ, 53пФ и 75пФ. Группы 1А и 2А сделаны последовательно без вентиляции, а группы 1Б и 2Б - с вентиляцией. Как видно из представленных результатов, вентиляция оказывает существенное влияние на площадь ГРВ-грамм. В группе Б воспроизводимость данных при последовательных измерениях существенно выше, чем в группе А. Это объясняется тем, что в отсутствии вентиляции в промежутке между крышкой и прозрачной пластиной накапливается озон, что значительно снижает площадь разряда [23].

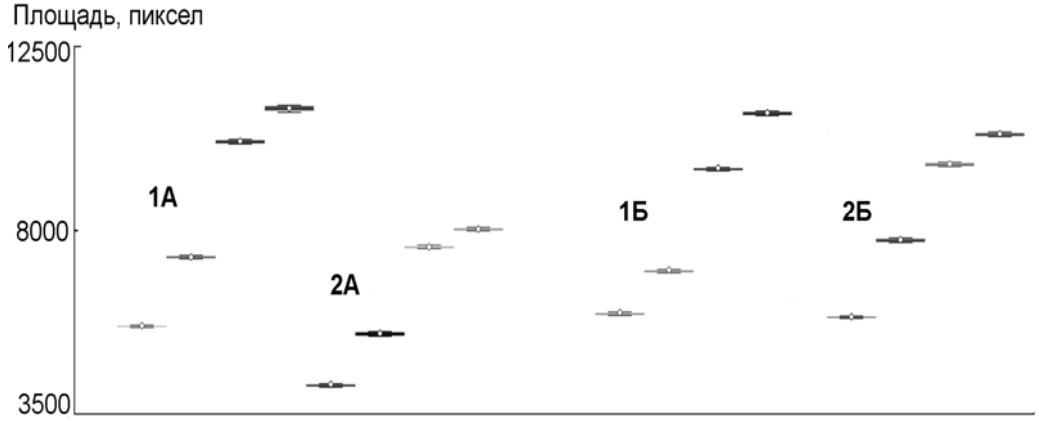


Рис. 4.2. Влияние вентиляции воздушного промежутка между сериями съёмок на площадь ГРВ-грамм. 1А, 2А - последовательные серии без вентиляции; 1Б, 2Б - последовательные серии с вентиляцией

Разогрев прибора

Прибору ГРВ требуется некоторое время для выхода на режим работы, при котором параметры ГРВ-грамм наиболее стабильны. Обычно стабильному уровню работы прибора «ГРВ Компакт» соответствует разброс значений средней интенсивности, не превышающий 1,5% от среднего значения в серии, а по площади - 3% [23]. Явление "разогрева" прибора заключается в постепенном плавном увеличении значения средней интенсивности и уменьшении площади газового разряда после включения прибора до достижения стабильного уровня (рис. 4.3).

Для выхода на стабильный режим по средней интенсивности ГРВ-грамм необходимо произвести разогрев один раз после включения прибора.

Однако, поскольку между сериями измерений во время проведения эксперимента зачастую прибор простаивает, то он успевает остыть. По

этой причине в начале каждой серии измерений возникает небольшой спад площади свечения на протяжении первых 20-40 кадров. Если время простоя прибора ГРВ не превышает часа, то повторно производить разогревочную серию не надо. Если прибор простаивает более часа, то следует либо провести повторный разогрев, либо не учитывать в обработке данных первые 20-40 кадров измерений.

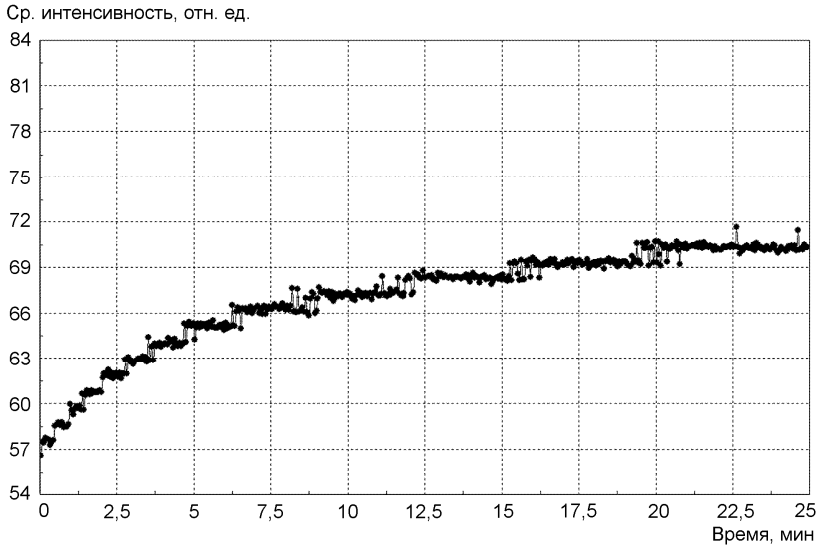


Рис. 4.3. Явление "разогрева" прибора ГРВ

Смещение тест-объекта

Одним из дестабилизирующих факторов является изменение положения тест-объекта на стеклянном электроде. Перемещение или переустановка тест-объекта приводит к изменению площади его соприкосновения с электродом. Это выражается в изменении площади свечения или появлении засветки внутри круга, описывающего тест-объект на ГРВ-грамме. Данная засветка появляется из-за неплотного прилегания тест-объекта к поверхности стеклянного электрода прибора. Эти явления значительно увеличивают разброс значений параметров ГРВ-грамм, что снижает стабильность получаемых результатов и не позволяет произвести статистическую обработку результатов.

В компании КТИ разработан и выпускается серийно специальный держатель тест-объекта, который во многом позволяет решить эту проблему.

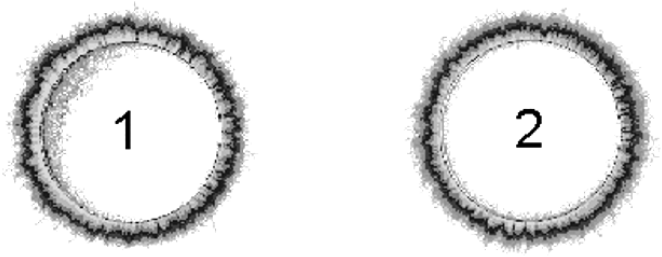


Рис. 4.4. Засветка тест-объекта при его неровной установке на стеклянный электрод (1); правильная постановка тест-объекта (2).

Изменение условий окружающей среды

Условия окружающей среды (например, влажность воздуха, температура, электромагнитный фон) оказывают влияние на развитие газового разряда. Так, состав воздуха в экспериментальной лаборатории влияет на газовый разряд, поскольку он развивается в воздушной среде. Установить влияние каждого из параметров окружающей среды на параметры ГРВ-грамм представляется очень сложным, поскольку нет возможности учесть влияние каждого из них по отдельности. Ряд исследователей [23] предлагает считать одинаковыми условиями проведения измерений на приборах ГРВ те, при которых разброс средних значений параметров ГРВ-грамм серий лежат в пределах ±2 %. Эти пороговые значения установлены для проведения измерений на ГРВ приборах в закрытом помещении. При проведении измерений на открытом воздухе эти рамки могут расширяться.

Интервал между разрядами

На приборах «ГРВ Компакт» и «ГРВ Камера» минимально возможный интервал между двумя последовательными разрядами в серии составляет 3 секунды. Этот порог задан программным путем, и обусловлен электрическими процессами, происходящими в приборе ГРВ (например, перезарядка конденсатора). Эксперименты показали, что при временном интервале 3 секунды между разрядами разброс значений параметров площади и средней интенсивности больше, чем при интервале, составляющем 5 секунд. Дальнейшее увеличение интервала между разрядами не приводит к увеличению стабильности получаемых результатов, поэтому 5 секунд является оптимальным рекомендуемым интервалом при ГРВ исследованиях.

Очистка оптического окна ГРВ камеры

Если между сериями измерений стеклянный электрод прибора ГРВ протирать тканью, то значения параметров ГРВ-грамм в следующей серии изменяются (рис. 4.5). Это происходит по причине изменения заряда, накопившегося на электроде [23].

На рисунке 4.5 видно, что кроме изменения среднего значения площади ГРВ-грамм произошло сильное увеличение разброса значений внутри серии. Это выразилось в двукратном увеличении среднеквадратического отклонения (высота прямоугольников на рис. 6, середина которых обозначает среднее значение параметра ГРВ-грамм в серии) и доверительного интервала («ушки», расположенные сверху и снизу от среднего значения серии). То же самое происходит и с параметром средней интенсивности.

Засветка изображения

Во время измерений в хорошо освещенных помещениях или на открытом воздухе может происходить засветка получаемого изображения из-за проникновения света в щели между защитной крышкой электрода, прибором ГРВ и держателем тест-объекта или шприца. Подобная засветка будет влиять на параметры ГРВ-грамм и вносить дополнительную погрешность в измерения.

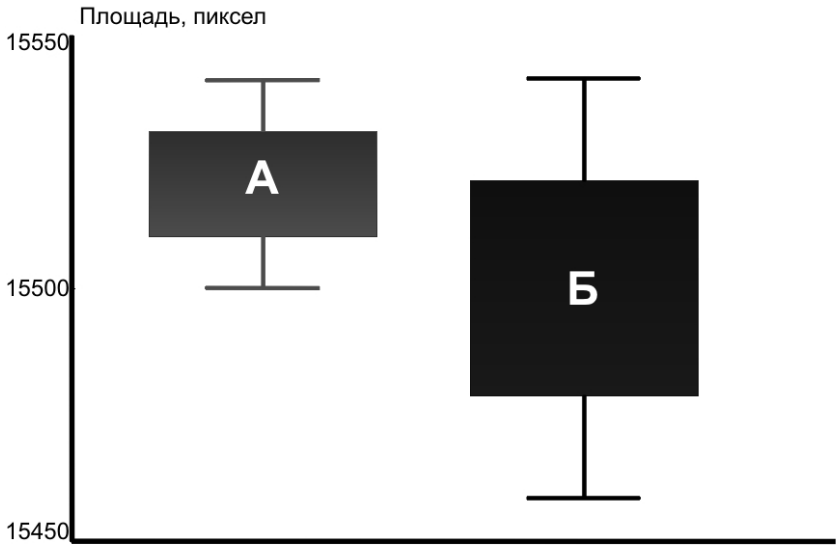


Рис. 4.5. Влияние протирки оптической поверхности прибора сухой тканью на значения площади ГРВ-грамм в сериях: А – серия до протирки; Б – серия после протирки.

4.3. Общие рекомендации по стандартизации процесса измерений

Исходя из перечисленных выше дестабилизирующих факторов были сформулированы общие рекомендации проведения измерений на приборах ГРВ:

1. обеспечить заземление прибора ГРВ и компьютера и/или подключить прибор ГРВ к автономному источнику питания.
2. во время проведения длительных непрерывных измерений (десятки минут и более) необходимо обеспечивать постоянное вентилирование, например, при помощи установленного рядом с прибором ГРВ (не ближе 0,2 метра) вентилятора.
3. перед началом высокоточных измерений необходимо производить «разогревочную» серию длиной 600 кадров с интервалом 3 секунды при установленном на электроде заземленном тест-объекте.
4. измерения следует проводить при временном промежутке между разрядами не менее 5 секунд.
5. тест-объект следует аккуратно устанавливать перед началом эксперимента и не передвигать, пока эксперимент не будет закончен и все нужные серии отсняты.

6. необходимо очистить поверхность электрода перед началом измерений (но не во время исследований).

7. во избежание засветки следует плотно устанавливать защитную крышку электрода и держатели тест-объекта или шприца и, при необходимости, затемнять камеру (например, накрыв плотной тканью).

8. необходимо следить за условиями окружающей среды.

- перепады влажности воздуха не должны превышать 5 %.
- перепады температуры воздуха не должны превышать 5 ºС.
- не включать/выключать электрические приборы во время проведения экспериментов в комнате, в которой стоит ГРВ прибор.
- не разговаривать по сотовому телефону вблизи ГРВ прибора.
- избегать резких перепадов атмосферного давления.
- следить за изменением геомагнитного фона (заход/восход Солнца и Луны и пр.).

9. длительность каждой серии измерений должна быть не менее 100 кадров (для последующей статистической обработки).

10. при обработке результатов следует исключать первые 20-40 кадров, особенно если наблюдается спад, подъем или существенный разброс параметров в начале съемки.

5. ПРИНЦИПЫ ОБРАБОТКИ ГРВ ИЗОБРАЖЕНИЙ

5.1. Основные принципы компьютерной обработки изображений

Изображение - форма представления информации, предназначенная для визуального восприятия.

Обработка изображений (Image Processing - IP) процесс создания, анализа, преобразования или интерпретации изображений.

Изображение является очень наглядной и емкой формой представления информации. Это связано не только с характером ее восприятия мозгом человека, но и с возможностями его органа зрения. Человек легко оперирует со зрительными образами. Характерно, что в среднем, на цвет приходится около 80% информации, содержащейся в изображении. Цветное изображение образуется в результате смешения трех основных цветов: красного, зеленого, синего. Число используемых цветов определяется задачами и применяемой технологией. Изображение может быть непрозрачным либо в некоторой степени прозрачным. В последнем случае сквозь него видно другое изображение. Изображение может быть одно-, двух- и трехмерным (3D). Для удобства восприятия, любая другая структура данных также может быть путем визуализации представлена в виде изображений.

В электронном виде изображение состоит из элементов, именуемых пикселями. Объемное изображение образуется из элементов, каждый из

которых является единичным кубом. Он называется вокселом и является квантом объема. Как пиксель, так и воксел характеризуются значениями, определяющими яркость, цвет, плотность и другие характеристики в соответствующей точке исследуемого объекта. Сопряжение компонентов трехмерного изображения определяется трехмерным интерфейсом. Для построения изображений используется компьютерная графика. Растровое изображение формируется построчно из отдельных точек растра, имеющих различную степень яркости и разный цвет. В отличие от этого, векторное изображение характеризуется большим числом отрезков коротких прямых, каждый из которых имеет определенное направление, цвет и координаты точки, из которой он исходит и точки, в которую входит.

Изображения делятся на первичные и вторичные. Первоначальное изображение получается в результате ввода с помощью камеры, слайд-сканера, клавиатуры, мыши в абонентскую систему исходных данных. Вторичное изображение является формой отображения промежуточного, либо окончательного результата обработки данных. Выдача изображения происходит на монитор.

Обработка изображений осуществляется в несколько этапов. Первый из них связан с оцифровкой (преобразованием из аналоговой в цифровую форму) и вводом в абонентскую систему. Этот процесс осуществляется при помощи видеовводного устройства и программного обеспечения (ПО). В результате в абонентскую систему вводится большой объем информации, поэтому, после ввода должно быть, по возможности, обеспечено сжатие изображений. Различают несколько способов сжатия изображений основанных на различных алгоритмах. Существует сжатие без потерь, когда из вектора данных сжатого изображения можно получить вектор данных в точности соответствующий вектору данных исходного изображения и сжатие с потерями, когда подобное преобразование невозможно. Степень сжатия изображения определяется коэффициентом сжатия, который является отношением длин сжатого и исходного векторов данных. Сжатие без потерь имеет более низкий коэффициент сжатия, чем сжатие с потерями.

Введенное в систему изображение подвергается различным видам обработки, перечень которых чаще всего включает:

- устранение искажений и дефектов;
- расширение диапазона яркостей;
- выделение контуров объектов;
- раскрашивание черно-белых частей изображения, имеющих различную яркость;
- распознавание объектов и образов.

Возможности обработки изображений характеризуются списком графических команд. К их числу, например, относятся:

- перемещение элемента либо всего изображения в указанное место;

- вычеркивание либо добавление какой-нибудь геометрической фигуры;
- поворот изображения на нужный угол;
- раскраска контуров и поверхностей.

Кроме этого, для трехмерных изображений возможны преобразования связанные с изменением: угла зрения, глубины перспективы, "источников" освещения.

Одним из способов анализа изображений являются гистограммы. Они активно применяются для определения параметров экспозиции и проведения тоновой коррекции полученных изображений. Поскольку объем данных гистограммы может быть очень велик, при отображении гистограмма обычно нормируется. Гистограмма служит источником как количественной, так и качественной информации. Она может использоваться для анализа тонового характера изображения, определения тоновых дефектов и даже условий съемки.

В применении к анализу ГРВ изображений гистограмма относится к так называемым гистограммам темного изображения. Она имеет ярко выраженное смещение тонов в темную сторону. Ей характерен широкий и высокий пик в левой части графика, т. е. изображение считается темным, если основная масса пикселей имеет низкие уровни яркости. Но это не означает, что в нем не должно быть пикселей высокой яркости, наоборот, качественная ГРВ-грамма темной тональности чаще всего будет иметь на диаграмме экспоненциальный «хвост» в области ярких значений, медленно спадающий к нулю, в конце тонового диапазона.

5.2. Методы компьютерной обработки изображений

Поэлементные преобразования изображений

При цифровой обработке изображения используется его представление в памяти в виде матрицы-вектора пикселей $\|\boldsymbol{F}\| = (f_0, f_1, \ldots f_m)$. Обработка изображения в общем случае заключается в выполнении какого-либо преобразования указанной матрицы, в результате которого формируется набор ее числовых характеристик или новое, обработанное изображение $\|\boldsymbol{G}\| = (g_0, g_1, \ldots g_n)$. Преобразование может касаться значений элементов или их координат (индексов), выполняться над матрицей в целом, группой элементов или над каждым элементом в отдельности.

В данном разделе рассматривается простейший вид цифровой обработки изображений, заключающийся в выполнении одного и того же функционального преобразования для каждого элемента матрицы вне зависимости от его положения и значений других (соседних) элементов. Такая обработка получила название поэлементного преобразования изображений. Она переводит значение каждого элемента $\|\boldsymbol{F}\|$ в новое

значение $\|\boldsymbol{G}\|$ в соответствии с заданной функциональной зависимостью $g_i = f(f_i)$.

Размеры входного и выходного изображения здесь, очевидно, совпадают (n=m). При практической реализации поэлементных преобразований можно непосредственно вычислять каждое значение преобразованного элемента в соответствии с конкретным видом функции (30). Однако для достаточно сложных функций такое построение процедуры обработки оказывается неудобным из-за больших затрат машинного времени на вычисления. Скорость обработки возрастает при переходе к табличному заданию функции преобразования. Алгоритм работы с таблицей очень прост: по значению f_i вычисляется адрес (номер строки) таблицы с выходным значением g_i. Очевидные преимущества такого подхода: высокое быстродействие, а также гибкость процедуры обработки (таблица преобразования по сути является параметром процедуры и может легко меняться); недостаток: приближенность результатов из-за ограниченного числа строк таблицы. Несмотря на простоту, метод поэлементных преобразований позволяет решить довольно много прикладных задач улучшения качества и анализа изображений.

Линейное контрастирование

Изображения, вводимые в компьютер, часто являются малоконтрастными, то есть у них вариации функции яркости малы по сравнению с ее средним значением. Реальный динамический диапазон яркостей $[f_{min}\ ,\ f_{max}]$ для таких изображений оказывается намного меньше допустимого диапазона (шкалы яркости). Задача контрастирования заключается в "растягивании" реального динамического диапазона на всю шкалу. Контрастирование можно осуществить при помощи линейного поэлементного преобразования $g_i = af_i+b$.

Параметры этого преобразования $a,\ b$ нетрудно определить, исходя из требуемого изменения динамического диапазона. Хотя при цифровой обработке изображений иногда удобнее не определять параметры преобразования, а непосредственно строить его в табличной форме, ориентируясь на границы распределения вероятностей функции яркости.

Пороговая обработка

Некоторые задачи обработки изображения связаны с полутоновыми преобразованиями. Полутоновыми преобразованиями называют такие преобразованиями при которых изображение, имеющее много градаций яркости трансформируется в двухградационное. Такое преобразование осуществляется в первую очередь для того, чтобы сократить информационную избыточность, оставить только ту информацию, которая нужна для решения конкретной задачи. В бинарном изображении должны быть сохранены интересующие нас детали (например, очертания

изображенных объектов) и исключены несущественные особенности (например, фон).

Пороговая обработка полутонового изображения заключается в разделении всех элементов изображения на два класса по признаку яркости, то есть в выполнении поэлементного преобразования по пороговому принципу. При выполнении пороговой обработки основной вопрос состоит в выборе порога. Пусть полутоновое изображение содержит интересующие нас объекты одной яркости на фоне другой яркости (типичные примеры: машинописный текст, чертежи, препараты под микроскопом и т. д.). Тогда в идеале плотность распределения яркостей должна выглядеть как две дельта-функции. В данном случае задача установления порога тривиальна: в качестве порога можно взять любое значение между «пиками». На практике, однако, встречаются определенные трудности, связанные с тем, что, во-первых, изображение искажено шумом и, во-вторых, как для объектов, так и для фона характерен некоторый разброс яркостей. В результате пики функции плотности распределения «расплываются», хотя обычно ее бимодальность сохраняется. В такой ситуации можно выбрать порог, соответствующий положению минимума между модами, то есть использовать функцию поэлементного преобразования.

Препарирование

Широкий класс процедур обработки изображений заключается в их препарировании, то есть в приведении к такому виду, который, возможно, весьма далек от естественного, но удобен для визуальной интерпретации или дальнейшего машинного анализа.

Многие операции препарирования могут осуществляться при помощи поэлементных преобразований специальных видов. Так, частным случаем препарирования является пороговая обработка, рассмотренная выше. Перечислим некоторые другие используемые преобразования.

Очевидным обобщением пороговой обработки является преобразование яркостного среза. Оно позволяет выделить определенный интервал диапазона яркостей входного изображения. Перемещая «рабочий» интервал по шкале и меняя его ширину, можно произвести визуальный анализ отдельных изображенных объектов, различающихся по яркости. Детали, не попадающие в указанный интервал, то есть относящиеся к «фону», будут подавлены.

Контрастное масштабирование в своем простейшем варианте совпадает по смыслу с линейным контрастированием, здесь «рабочий» интервал яркостей растягивается на весь диапазон допустимых значений. В других случаях контрастное масштабирование может быть связано с обращением функции яркости, то есть получением «негатива», представлением «рабочего» интервала яркостей на однородном фоне: черном, белом или сером.

Выделение контуров

Исследованиями психологов установлено, что с точки зрения распознавания и анализа объектов на изображении наиболее информативными являются не значения яркостей объектов, а характеристики их границ - контуров. Другими словами, основная информация заключена не в яркости отдельных областей, а в их очертаниях. Задача выделения контуров состоит в построении изображения именно границ объектов и очертаний однородных областей.

Будем называть контуром изображения совокупность его пикселов, в окрестности которых наблюдается скачкообразное изменение функции яркости. Так как при цифровой обработке изображение представлено как функция целочисленных аргументов, то контуры представляются линиями шириной, как минимум, в один пиксель. При этом может возникнуть неоднозначность в определении линии контура, для исходного изображения с перепадом яркости.

Если исходное изображение, кроме областей постоянной яркости, содержит участки с плавно меняющейся яркостью, то введенное определение контура остается справедливым, однако при этом не гарантируется непрерывность контурных линий: разрывы контуров будут наблюдаться в тех местах, где изменение функции яркости не является достаточно резким.

С другой стороны, если на «кусочно-постоянном» изображении присутствует шум, то, возможно, будут обнаружены «лишние» контуры в точках, которые не являются границами областей.

При разработке алгоритмов выделения контуров нужно учитывать указанные особенности поведения контурных линий. Специальная дополнительная обработка выделенных контуров позволяет устранять разрывы и подавлять ложные контурные линии.

Обработка изображений скользящим окном

Рассмотрим поле изображения, которое сканируется скользящим «окном», покрывающим одновременно несколько пикселов. При этом в окне оказывается небольшой фрагмент изображения. При перемещении окна фрагмент меняется. Постепенно окно сканирует все поле изображения. Все пиксели, попадающие в окно, обрабатываются по некоторым правилам. Результатом обработки является пиксель выходного изображения, обычно соответствующий центру окна.

Поэлементное преобразование является частным случаем локальной обработки изображений. В общем случае функция преобразования является нелинейной и может иметь весьма сложную структуру. Ясно, что для ее реализации нельзя использовать табличный метод (как при поэлементной обработке). Для большого числа практических задач обработку можно представить в виде наложения линейной обработки окном и поэлементного преобразования.

При обработке изображений с использованием линейной маски следует учитывать «краевые эффекты». С практической точки зрения исходное и обработанное изображения удобно считать имеющими одинаковые размеры. Однако в этом случае получающееся изображение не определено вблизи краев, так как окно выходит за границу изображения при некоторых значениях индексов. В этом случае обычно считают, что неопределенные значения элементов яркости вне поля изображения равны константе (например, нулю) или значениям ближайших определенных элементов.

Модели помех при регистрации изображений

Никакая система регистрации не обеспечивает идеального качества изображений исследуемых объектов. Изображения в процессе формирования их изображающими системами (фотографическими, голографическими, телевизионными) обычно подвергаются воздействию различных случайных помех или шумов. В отличие от так называемых детерминированных искажений, которые часто описываются поэлементными функциональными преобразованиями исходного изображения, для описания случайных воздействий используют модели аддитивного, импульсного и мультипликативного шумов.

Наиболее распространенным видом помех является случайный аддитивный шум, статистически независимый от видеосигнала. Модель аддитивного шума используется тогда, когда сигнал на выходе изображающей системы или на каком-нибудь промежуточном этапе преобразования может рассматриваться как сумма полезного сигнала и некоторого случайного сигнала (шума). Модель аддитивного шума хорошо описывает действие зернистости фотопленки, флуктуационный шум в радиотехнических системах, шум квантования в аналого-цифровых преобразователях и т.п.

Если действие шума сказывается не по всей протяженности поля изображения, а только в случайно расположенных точках, в которых значения функции яркости заменяются случайными величинами, то шум называют импульсным. На изображении такие помехи выглядят изолированными контрастными точками. Будем считать, что искаженные точки равномерно распределены по всему полю изображения, а яркость искаженных точек имеет равномерное распределение в некотором диапазоне. Импульсный шум характерен для систем передачи изображений по радиоканалам с использованием нелинейных методов модуляции, а также для цифровых систем передачи и хранения изображений. В частности, импульсный шум присущ устройствам ввода изображений с телевизионной камеры. Более общей линейной моделью наблюдения изображения в условиях помех является модель, учитывающая наряду с аддитивным шумом динамические пространственные искажения.

5.3. Обработка ГРВ изображений

Стандартные 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 специальная 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.

Программный комплекс ГРВ состоит из следующих основных блоков:

а) библиотека операций, (программная дискретизация; удаление шумов и помех; псевдоокрашивание); сегментирование ГРВ-грамм (построение вписанного эллипса; секторальные разбиения изображения); развертка изображения; вычисление различных параметров изображения; классификация ГРВ-грамм;

б) подсистема синтеза процедур, где на основе результатов предшествующего обучения на тестовых задачах в автоматизированном режимы проектируется общая процедура обработки и анализа ГРВ-грамм.

в) интерфейс пользователя, представляет собой комплекс программ обеспечивающих взаимодействие пользователя и программно-аппаратного комплекса;

На основе этого комплекса разработан ряд модификаций для исследования параметров газоразрядного свечения объектов различной природы. В настоящем пособии рассматриваются принципы обработки ГРВ изображений в программе «GDV Scientific Laboratory».

Программа «GDV Scientific Laboratory» предназначена для многопараметрической обработки статических и динамических ГРВ-грамм. Программа обеспечивает решение следующих задач:

1. расчет числовых характеристик ГРВ-грамм;
2. формирование до 10 выборок ГРВ-грамм и осуществление их статистического сравнения по выбранным ГРВ-параметрам;
3. расчет статистических характеристик каждой выборки по выбранному параметру;
4. расчет трендов, энтропийный и фрактальный анализ временных рядов параметров динамических ГРВ-грамм;
5. визуальный анализ и сравнение исходных ГРВ-грамм и массивов рассчитанных числовых данных;
6. сохранение результатов обработки в файлы и печать отчетов.

В программе рассчитываются средние значения параметров внутри серий, их среднеквадратичные отклонения и доверительные интервалы,

максимальные и минимальные значения и т.д. Некоторые из рассчитываемых значений используются в стандартной процедуре для проверки стабильности получаемых значений в одинаковых условиях и для выделения серий, у которых среднеквадратичное отклонение значений превышает указанные в стандартной процедуре значения.

Однако окончательный статистический анализ полученных данных (рассчитанных в ГРВ программном комплексе параметров) необходимо проводить с использованием стандартных вычислительных средств, обзор которых представлен в следующем разделе.

При обработке ГРВ-грамм в программе «GDV Scientific Laboratory» следует учитывать предусмотренную в программе возможность устранения одной из нередко наблюдаемых ошибок ГРВ съемки – паразитной засветки, которая может приводить к искажению данных при вычислении параметров (рис 5.1).

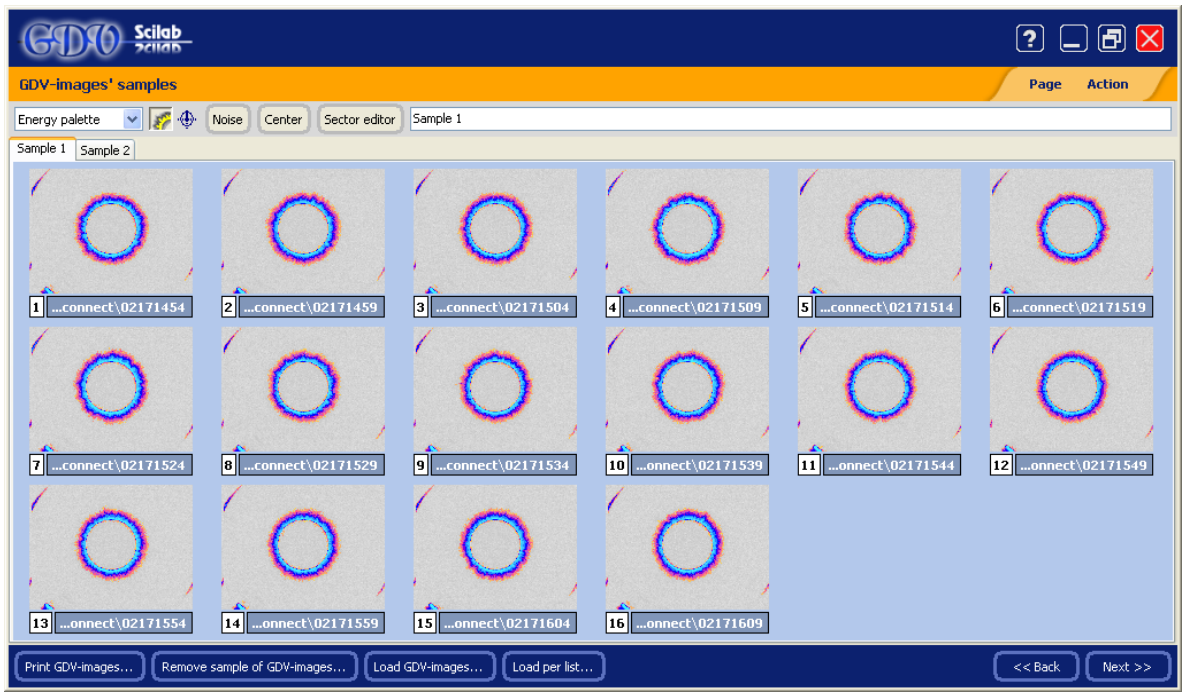


Рис.5.1. Окно программы «GDV Scientific Laboratory».

Для устранения влияния засветки необходимо выбрать пункт меню «Шум» и установить рабочий радиус порядка 120 или более (подбирается эмпирически) (рис.5.2). Обработка изображения будет проводиться только внутри выбранного круга, что снижает влияние помех (рис.5.3).

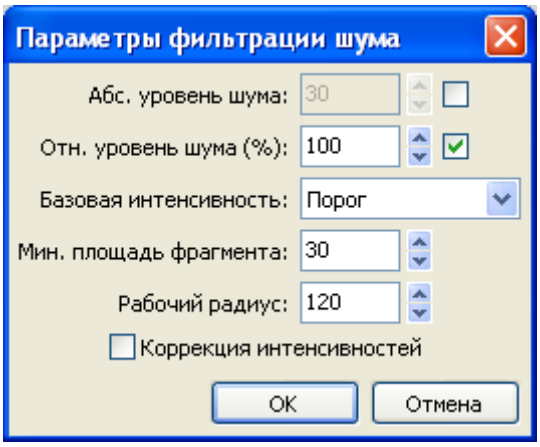


Рис.5.2. Параметры шума.

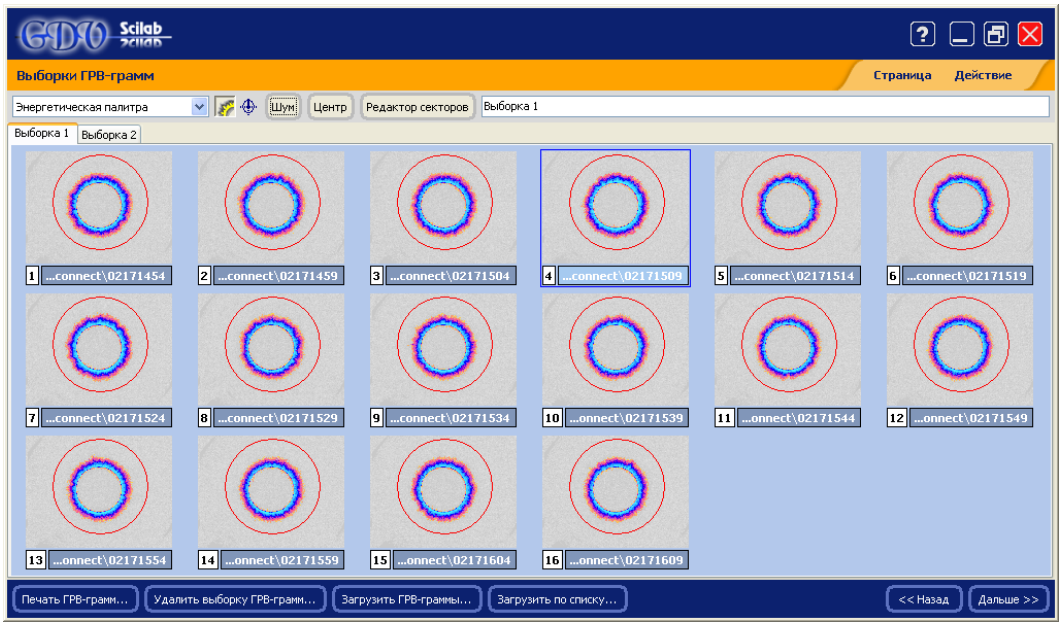


Рис.5.3. Обработка изображений внутри выбранного круга.

5.4. Выявление полезного сигнала и фильтрация шумового фона изображения

ГРВ-грамма представляет собой набор точек (пикселей), каждая из которых характеризуется интенсивностью свечения – числом в диапазоне от 0 до 255. Нулевое значение интенсивности соответствует отсутствию свечения в данной точке, а значение 255 отвечает максимальной интенсивности свечения.

Исходное ГРВ-изображение кроме полезного сигнала содержит множество «шумовых» пикселей. Можно выделить два вида помех. Первая (высокочастотная составляющая) выражается в виде случайно распределенных по всему изображению пикселей низкой интенсивности и вызвана погрешностями работы светочувствительной матрицы и наводками со стороны высоковольтных компонент прибора. Вторая

(низкочастотная составляющая) представляет собой отдельные небольшие, но яркие фрагменты свечения и вызывается в основном загрязненностью электрода. Поэтому, перед расчетом ГРВ-параметров выполняется процедура фильтрации шума, основанная на пороговом методе обработки изображений. Процедура выделения полезного сигнала выполняется в два этапа.

На первом этапе, осуществляется удаление из изображения точек, интенсивность которых меньше заданного порога $i_{пор}$. Т.е. новая интенсивность каждой точки вычисляется как:

$$i(x,y)=\begin{cases} i(x,y), \text{ если } i(x,y)>i_{пор} \\ 0, \text{ если } i(x,y)\le i_{пор} \end{cases}, \tag{5.1}$$

где $i_{пор}$ - заданная интенсивность порога.

Величина порога $i_{пор}$ вычисляется одним из следующих способов:

1. Порог задается пользователем явно – соответствующий параметр программы называется «абсолютный уровень шума»;

2. Порог определятся автоматически для каждого изображения по какой-либо характеристике спектра ГРВ-граммы.

Пусть i_1 и i_2 интенсивности двух смежных точек P_1 и P_2. Порог $i_{пор}$ выделяет перепад между этими точками, если $i_1 \le i_{пор} \le i_2$ или $i_2 \le i_{пор} \le i_1$. Число перепадов, которые выделяются порогом:

$$N(i_{пор})=\sum_{P_1 P_2} Q(i(P_1), i(P_2), i_{пор}), \tag{5.2}$$

где $Q(i(P_1), i(P_2), i_{пор})=1$, если $i_{пор}$ выделяет порог между P_1 и P_2, и $Q(i(P_1), i(P_2), i_{пор})=0$ – в другом случае. Контраст между точками определяется как:

$$C(P_1,P_2)=|i(P_1)-i(P_2)| \tag{5.3}$$

Средний контраст изображения

$$\overline{C}(i_{пор})=\frac{\sum_{P_1 P_2} C(P_1,P_2)}{N(i_{пор})} \tag{5.4}$$

Порог $i_{пор}$, соответствующий максимальному среднему контрасту, считается оптимальным.

Распределение интенсивностей для ГРВ-грамм различных объектов обычно имеет характерную форму «колокола» смещенного в область низких интенсивностей (рис. 5.4). Причем, основная площадь «колокола» занята шумовыми точками первого типа. Таким образом, можно вычислять величину порога в процентах от какой-либо статистической характеристики распределения (среднего, стандартного отклонения, медианы, моды и т.п.).

Рис.5.4. Типичное распределение интенсивностей ГРВ-граммы.

Последний способ регулируется двумя параметрами – «относительным уровнем шума» и «базовой интенсивностью». Относительный уровень шума определяет значение порога для фильтрации в процентах от выбранной базовой интенсивности. Имеется возможность выбрать один из пяти типов базовой интенсивности:

1. Средняя – средняя интенсивность, рассчитанная по всем точкам изображения.
2. Средняя + СКО – средняя интенсивность по всем точкам изображения плюс стандартное отклонение интенсивности.
3. Медиана – медиана интенсивностей точек изображения.
4. Пик – значение интенсивности, которое встречается в изображении чаще всего.
5. Порог – значение, превышающее пик интенсивности, количество точек с которым в ГРВ-грамме составляет менее 1 % от общего количества точек изображения.

Таким образом, подавляется первый тип помех. Правильная установка уровня шума чрезвычайно важна для корректной обработки ГРВ-грамм и расчета ГРВ-параметров.

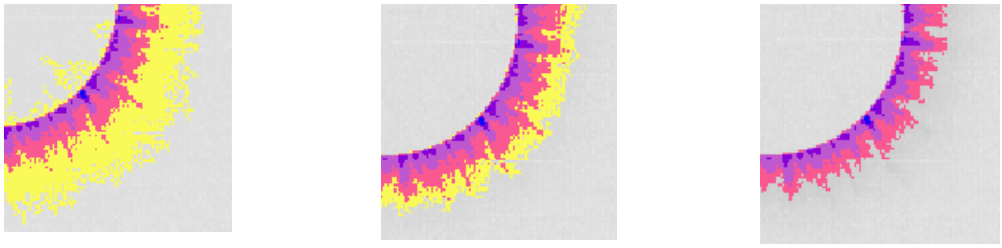


Рис.5.5. Пример фильтрации ГРВ-грамм с увеличением уровня шума.

Также на изображении могут присутствовать яркие одиночные пиксели или области из нескольких пикселей, которые также возникают случайно, вследствие различных помех работы камеры. Помимо погрешности видеокамеры свой вклад в зашумленность регистрируемой ГРВ-граммы может вносить загрязненность рабочей поверхности прибора.

Из-за этого в изображении также могут присутствовать отдельные яркие точки или фрагменты, которые также подлежат фильтрации.

Таким образом, на втором этапе происходит построение списка фрагментов свечения, т.е. восьмисвязных групп пикселей с ненулевой интенсивностью свечения. Каждый фрагмент представляется в виде списка непрерывных горизонтальных линий сканирования. После этого из изображения удаляются все пиксели, которые принадлежат фрагментам F с площадью $S(F)$ меньшей заданного порога $S_{\min}$:

$$i(x,y)=\begin{cases} i(x,y), \text{ если } p(x,y)\in F : S(F) >= S_{\min} \\ 0, \text{ если } p(x,y)\in F : S(F) < S_{\min} \end{cases} \quad (5.5)$$

Величина порога $S_{\min}$ задается пользователем явно, исходя из условий эксперимента и типа объекта исследования.

Минимальная площадь фрагмента устанавливается вручную перед обработкой ГРВ-грамм. Этот параметр для подавляющего числа случаев может иметь значение 10. Однако, если на изображении все-таки остаются помехи (случайные маленькие фрагменты по всей области изображения), то минимальную площадь фрагмента следует увеличить. Нормальное значение этого параметра лежит в пределах от 10 до 30.

Таким образом, фильтрация шума основана на двух основных параметрах: уровень шума и минимальная площадь фрагмента изображения газового разряда.

Для удобства обработки ГРВ-грамм некоторых объектов (например, капель жидкости, которые могут разбрызгиваться в процессе импульсного воздействия, или семян), а также в случае наличия засветки по краям изображения, введен еще один параметр – «рабочий радиус». Если этот параметр имеет ненулевое значение, то из изображения удаляются все пиксели, расстояние от которых до центра свечения превышает заданное значение.

Стоит особо отметить, что в процессе фильтрации никогда не происходит физического удаления информации из изображений – просто все дальнейшие расчеты в программе происходят так, как если бы отфильтрованные пиксели имели нулевую интенсивность. Поэтому параметры фильтрации шума могут быть изменены в любое время без потери данных о шумовых пикселях.

Настройка параметров фильтрации шума возлагается на пользователя. Два основных фактора при выборе этих параметров – это тип используемой ГРВ-камеры и специфические особенности регистрируемых ГРВ-грамм. Рекомендации, помогающие определить корректные значения параметров, приведены в инструкции по эксплуатации к ГРВ-камере. Вы должны руководствоваться принципом выделения наиболее контрастной части свечения, которая, обычно, видна в изображении невооруженным глазом. Также важно, например, при регистрации изображений тест-

объекта обеспечить такие параметры фильтрации, чтобы внутренняя область свечения не содержала шумовых пикселей. Для удобства подбора оптимальных параметров фильтрации шума в программе предусмотрено переключение различных типов псевдорасцветки изображений. Можно использовать следующий способ контроля правильности выбора параметров:

1. Установите «интенсивную» или «энергетическую» палитру для загруженных изображений.
2. Подберите параметры фильтрации шума так, чтобы обеспечить минимальное количество желтых точек вне основного изображения.
3. Переключитесь на палитру «исходное изображение».
4. Отключите отображение отфильтрованных точек.
5. Убедитесь, что на экране не пропали видимые невооруженным глазом особенности свечения объекта исследования.
6. Переключитесь в «монотонную палитру».
7. Убедитесь, что ярко-голубые точки не заполняют всю, или почти всю площадь изображения.

При необходимости – повторите эту последовательность.

Естественно, процедура подбора параметров осуществляется обычно один раз, с использованием нескольких образцов ГРВ-грамм пальцев и ГРВ-грамм тест-объекта отснятых на конкретном экземпляре ГРВ Камеры.

В программе предлагается несколько параметров фильтрации шума:

1. **Абсолютный уровень шума** – удаление всех точек изображения, интенсивность которых меньше либо равна заданному уровню шума. Значение рекомендуется подбирать индивидуально для каждой съемки в пределах от 40 до 90.

2. **Относительный уровень шума (%)** – программа осуществляет автоматический выбор абсолютного уровня шума на основании заданного процента от величины базовой интенсивности. Этот алгоритм подбирает уровень шума индивидуально для каждого кадра ГРВ-граммы. Базовая интенсивность рассчитывается на основании анализа гистограммы спектра изображения. В качестве значений этого параметра выбираются статистические характеристики спектра соответствующая: среднему значению спектра плюс величина его квадратичного отклонения, среднему значению спектра, медиане спектра или пику спектра.

3. **Минимальная площадь фрагмента** – удаление фрагментов свечения, площадь которых меньше заданной минимальной площади фрагмента.

4. **Рабочий радиус** – удаление всех точек изображения, расстояние от которых до центра свечения больше заданного рабочего радиуса. Центр свечения либо рассчитывается автоматически, как центр тяжести всех точек свечения, либо используется значение явно заданное пользователем

при ручной корректировке центра. Для всех кадров видеофильма используется одинаковое значение координат центра свечения.

5. **Коррекция интенсивностей** – увеличивается или уменьшается интенсивность всех точек ГРВ-граммы на одинаковую величину, которая автоматически рассчитывается программой так, чтобы характеристики спектра изображения были наиболее приближены к характеристикам спектра ГРВ-грамм тест-объекта отснятых при калибровке.

5.5. Вычисление значимых топологических характеристик изображения

Для исследования методом ГРВ используются объекты некоторой «стандартной» формы для обеспечения статистической воспроизводимости результатов. Например, для твердотельных объектов обычно это цилиндр, для порошкообразных веществ – цилиндрическая емкость, для жидкостей – мениск – вывешенная над электродом капля. При медицинских и психофизиологических исследованиях регистрируют свечение вокруг пальцев рук человека, которые имеют овальную форму. Поэтому, на изображении выделяется специальная точка, называемая центром свечения, которая соответствует геометрическому центру плоскости исследуемого объекта участвующей в формировании газового разряда, и внутренний овал, соответствующий контору плоскости объекта, расположенной на электроде прибора. Координаты центра свечения используются при вычислении некоторых ГРВ-параметров. Кроме того, часто применяется секторный анализ для изучения особенностей свечения в отдельном угловом секторе изображения, с центром в этой точке.

Координаты центра свечения (x_c, y_c) вычисляются одним из нескольких способов:

1. Задаются пользователем явно.
2. Вычисляются как геометрический центр изображения:

$$x_c = \frac{w}{2} \text{ и } y_c = \frac{h}{2}; \qquad (5.6)$$

3. Вычисляются как центр тяжести всех точек свечения:

$$x_c = \frac{\sum_{i=1}^{N} x_i}{N} \text{ и } y_c = \frac{\sum_{i=1}^{N} y_i}{N}, \qquad (5.7)$$

где N - общее количество точек с ненулевой интенсивностью.

4. Центр тяжести всех точек образующих внутренний контур свечения.
5. Центр тяжести всех точек образующих внешний контур свечения.
6. Центр тяжести точек, принадлежащих фрагменту, ближайшему к середине изображения.

Иногда, удобно провести дополнительный этап фильтрации шума для удаления всех точек свечения, которые лежат далее заданного расстояния (называемого рабочим радиусом) от центра свечения. Например, при исследовании жидкостей, может происходить разбрызгивание мелких капель по поверхности электрода. Дополнительная фильтрация в этом случае помогает убрать свечение капель и исследовать только свечение самого образца.

5.6. Псевдоокрашивание изображения ГРВ-граммы

Для визуальной оценки изображения в системе предусмотрено три алгоритма псевдоокрашивания, ориентированные на выделение различных участков ГРВ-грамм. Принцип псевдоокрашивания основан на разбиении яркостного спектра изображения на несколько K_i частей равной площади. Каждому участку присваивается определенный цвет $S_k(b)=const.$, вследствие чего все точки, интенсивность свечения которых лежит в заданном интервале, отображаются на экране одинаковым цветом. Таким образом, можно подчеркивать различные визуальные особенности ГРВ-грамм.

В программе предусмотрены следующие типы псевдоокрашивания:

1. *Исходное изображение* – изображение в том виде, в котором оно получено от видеокамеры. Используются серая цветовая гамма, содержащая 256 оттенков серого (от черного до белого). Точки с минимальной интенсивностью свечения отображаются темными (почти черными) оттенками серого, точки с максимальной интенсивностью свечения отображаются светлыми (почти белыми) оттенками.

2. *Инвертированное изображение* – используется инвертированная серая цветовая гамма, содержащая 256 оттенков серого (от черного до белого). Точки с минимальной интенсивностью свечения отображаются светлыми (почти белыми) оттенками серого, точки с максимальной интенсивностью свечения отображаются темными (почти черными) оттенками. При использовании этой палитры более четко, чем на исходном изображении видны отдельные мелкие детали свечения и тонкие стримеры.

3. *Интенсивная палитра* – точки изображения окрашиваются в один из восьми цветов. Самые яркие точки свечения окрашиваются в оттенки синего, менее яркие точки окрашиваются в оттенки красного, в желтый цвет окрашиваются точки, интенсивность которых выше уровня шума, но ниже автоматически вычисляемой базовой интенсивности шума для данного кадра. Все точки изображения удаленные алгоритмом фильтрации шума отображаются белым цветом.

4. *Монотонная палитра* – все точки изображения удаленные алгоритмом фильтрации шума отображаются черным цветом, остальные точки отображаются ярким однотонным цветом. Эта палитра используется

при анализе площади свечения по секторам и всего изображения в целом, для того чтобы избежать "обмана зрения", который может возникнуть, если некоторые точки свечения будут плохо видны из-за окраски близкой к окраске "шумовых" точек.

5. *Синяя палитра* – используется цветовая гамма, содержащая 256 оттенков синего цвета (от черного к ярко-синему). Точки с минимальной интенсивностью свечения отображаются темными (почти черными) оттенками, точки с максимальной интенсивностью свечения отображаются яркими (почти синими) оттенками. Эта палитра отображает свечение в том виде близком к тому, в котором его можно видеть невооруженным взглядом на электроде прибора.

Для оценки «зашумленности» изображения в программе предусмотрено маскирование шумовой части изображения ГРВ-граммы. Сравнение изображения с наложением шума и баз него позволяет судить о качестве съемки ГРВ-граммы и на полученное изображение внешних факторов. На рисунке 5.6 представлено отображение ГРВ-грамм с маскированием и наложением шума на изображение.

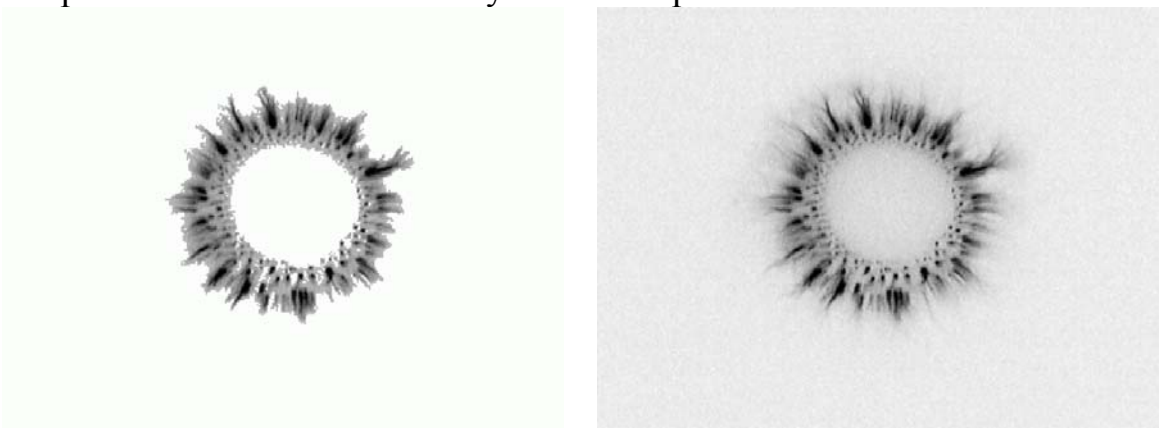


Рис.5.6. Отображение ГРВ-граммы в инвертированной палитре.

5.7. Алгоритмы расчета параметров ГРВ-граммы

На сегодняшний день разработано несколько десятков различных ГРВ-параметров. Накопленный в течение ряда последних лет опыт их использования для анализа ГРВ-грамм позволяет выделить набор из нескольких наиболее информативных параметров. Для оценки специфических изменений изображений, характерных для конкретных задач, разработан набор автоматизированных функций вычисления следующих количественных параметров ГРВ-грамм.

Общая площадь изображения (в пикселях):

$$S = \Sigma_x \Sigma_y p_{ij} , \qquad (5.8)$$

где $p_{ij} = 1$, если $b(i,j) \geq m$ и $p_{ij} = 0$, если $b(i,j) < m$; $b(i,j)$ – значение яркости элемента изображения (пикселя), m – 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):

$$PJ = \frac{\sum_{i=0}^{n} d[i]i}{\sum_{i=0}^{n} d[i]} \tag{5.9}$$

где *d[i]*- количество пикселей изображения, для которых *b(x,y)=i, i*∈(0, 250).

Количество фрагментов (N_F) – количество восьмисвязных групп точек с ненулевой интенсивностью.

Средняя площадь фрагмента ($\bar{S}_F$) – среднее количество точек в каждом фрагменте.

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, что позволяет вычислить ряд параметров. Наиболее важным из этих параметров является информационная **энтропия ГРВ-грамм**. 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. 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 минимальная по величине dS/dt→ 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 стремиться работать в самом экономном энергетическом режиме. Отклонение от стационарного состояния – заболевание – связано с дополнительными энергетическими затратами и ростом энтропии.

Для расчета последних четырех параметров строится функция $R(\alpha)$, значения которой равны расстоянию между первой и последней точками ненулевой интенсивности, лежащими на луче выходящем из центра свечения под углом $\alpha \in [0; 2 \cdot \pi)$ к вертикали (рис. 5.8). Как правило, функция $R(\alpha)$ неоднородна и меняется достаточно хаотически. Без больших погрешностей можно рассматривать ее как последовательность реализаций случайной величины и применить аппарат описания статистических зависимостей, что позволяет вычислить ряд параметров.

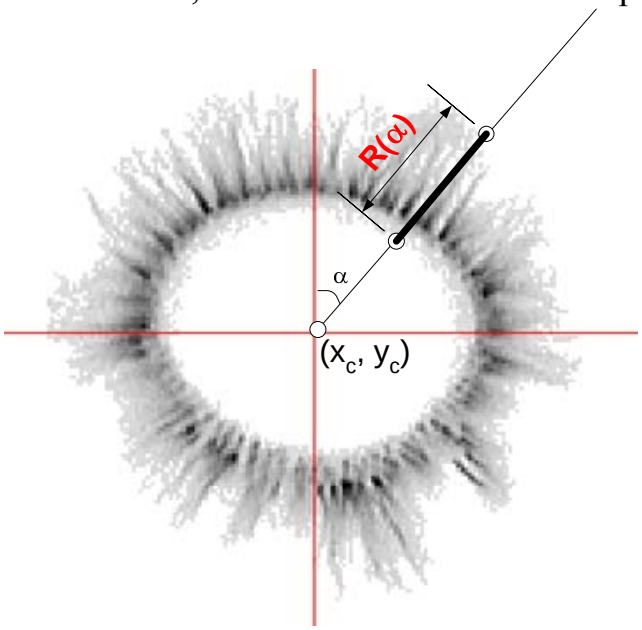


Рис.5.8. Вычисление функции R(α).

Средний радиус свечения $\overline{R}$ – является математическим ожиданием значений функции $R(\alpha)$.

Нормализованное отклонение вычисляется как:

$$\sigma_{\overline{R}} = \frac{\sigma_R}{\overline{R}}, \tag{5.10}$$

где σ_R – среднеквадратическое отклонение функции $R(\alpha)$.

Коэффициент формы (безразмерная величина, равная 4π для окружности и растущая при усложнении формы фигуры):

$$K = \frac{L}{2\pi \overline{R}}, \tag{5.11}$$

где L – длина кривой функции $R(\alpha)$.

Коэффициент формы является мерой изрезанности внешнего контура свечения, минимальное значение равно 1 – соответствует свечению в

форме окружности или кольца, большие значение – сильно изрезанное изображение, с большим количеством разрывов контура.

Энтропийный анализ позволяет вычислить меру «информативности» контура свечения. Величина энтропии вычисляется на основании вероятностей p_j получения функцией $R(\alpha)$ значения X_j по формуле:

$$H(R(\alpha)) = -\sum_{j=1}^{M} p_j\left(R(\alpha_j)\right)\ln\left[p_j\left(R(\alpha_j)\right)\right], \qquad (5.12)$$

где $p_j\left(R(\alpha_j)\right) = \frac{N\left(R(\alpha_j)\right)}{N_\Sigma}$, $N\left(R(\alpha_j)\right)$ – общее количество значений величины $R(\alpha_j)$, а N_Σ – количество всех значений $R(\alpha)$.

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

Каждый из перечисленных параметров может быть рассчитан не только для всего изображения, но и для отдельных угловых секторов (с центром в центре свечения).

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

$$JS = a \ln\{(S/S^*)/(SO/SO^*)\}, \qquad (5.13)$$

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.

Этот безразмерный коэффициент позволяет сравнивать ГРВ изображения, снятые в различные дни и в различных условиях.

Фрактальность. Для геометрической интерпретации газоразрядных процессов разработан алгоритм вычисления фрактальной размерности временных рядов параметров динамических ГРВ-грамм по методу Хигучи [19]. Фрактальные кривые, описываемые временными рядами, рассматриваются как совокупность k кривых ($k = k_1, k_2, \ldots, k_{max}$). Тогда длина этих кривых может быть выражена пропорцией k-D, где фрактальная размерность D выражает сложность кривой – для простых линий $D = 1$, для кривых, плотно заполняющих пространство, размерность D стремиться к 2.

Пусть кривой соответствует временной ряд x_i длиной N, тогда по нему могут быть построены k новых временных рядов x_m^k:

$$x_m^k: x_m, x_{m+k}, x_{m+2k}, \ldots, x_{m + int[(N-m)/k]\cdot k}, \qquad (5.14)$$

где $m \in [1,k]$, $int[...]$ обозначает максимальное целое не превосходящее число в скобках, m и k – целые числа, обозначающие начальное время и временной интервал соответственно. Например, если $N = 100$ и $k = 4$, тогда можно получить четыре новых временных ряда:

$$\begin{aligned} x_1^4&: x_1, x_5, \ldots, x_{97} \\ x_2^4&: x_2, x_6, \ldots, x_{98} \\ x_3^4&: x_3, x_7, \ldots, x_{99} \\ x_4^4&: x_4, x_8, \ldots, x_{100}. \end{aligned} \tag{5.15}$$

По методу Хигучи длина кривой x_m^k определяется как:

$$Lm(k) = \frac{[|x(m+i\cdot k) - x(m+(i-1)\cdot k|]\cdot(N-1)/\mathrm{int}[(N-m)/k)\cdot k]}{k}, \tag{5.16}$$

где $i \in [1,\mathrm{int}\,[(N-m)/k]]$, выражение $(N-1)/int[(N-m)/k)\cdot k]$ – коэффициент нормализации. Далее, усредняя $Lm(k)$ для всех m получаем среднее значение длины $L(k)$ для заданного значения k. Эта процедура повторяется для всех значений k.

Значение фрактальной размерности D_F рассчитывается методом наименьших квадратов линии регрессии углового коэффициента на логарифмическом графике $\log(L)$ от $\log(k)$ уравнения $L(k)=ak^{-D_F}$. Отсюда получаем

$$D_F = \frac{n\sum x_k y_k - \sum x_k \sum y_k}{n\sum(x_k^2) - \left(\sum x_k\right)^2}, \tag{5.17}$$

$$\bar{b} = \frac{1}{n}\left(\sum y_k - D_F \sum x_k\right), \tag{5.18}$$

со стандартными отклонениями

$$S_{D_F} = \sqrt{\frac{n\left(\sum y_k^2 - D_F \sum x_k y_k - \bar{b}\sum y_k\right)}{(n-2)\left[n\sum x_k^2 - \left(\sum x_k\right)^2\right]}}, \tag{5.19}$$

$$S_{\bar{b}} = \sqrt{\frac{1}{n} S_{D_F} \sum x_k^2}. \tag{5.20}$$

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 $L(k)$.

Следует подчеркнуть, что фрактальная размерность принадлежит диапазону от 1 до 2, характеризуя, таким образом, сложность кривой, соответствующей временному ряду, рассматриваемому в 2-х мерном пространстве. Достоинством алгоритма Хигучи является то, что он работает на исходных данных и не требует построения фазового пространства и т.п. вычислений.

6. МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ И ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

При проведении исследований важной задачей является корректная обработка данных с использованием статистических методов. При обработке изображений в программном комплексе ГРВ предусмотрена возможность оценки полученного массива данных стандартными статистическими средствами. При помощи реализованных визуальных и математических статистических оценок можно определить соответствие полученных данных стандартным требованиям, выяснить характер распределения данных внутри каждой серии, предварительно оценить имеющиеся между группами данных отличия. Однако окончательный статистический анализ результатов должен производиться исследователем самостоятельно с применением стандартных статистических методов и учетом особенностей экспериментальных исследований.

6.1. Основные принципы и методы анализа данных

Для статистической обработки очень важно оценить характер статистического распределения данных. Основными критериями при выборе метода статистического анализа полученных данных являются следующие:

- зависимость – независимость выборок;
- параметрические – непараметрические распределения.

Зависимость – независимость выборок определяется из условий проведения опытов: если данные об одном и том же процессе сняты в разное время, в различных условиях, они являются независимыми. При непрерывной регистрации какого-то процесса, когда в определенный момент включается действие исследуемого фактора, например, мобильного телефона или запаха, данные являются зависимыми.

Сложнее обстоит дело с определением характера распределения данных. Обращаем внимание, что в большинстве случаев реальных экспериментов исследователи имеют дело с небольшими выборками, по которым сложно определить характер распределения, однако в ряде случаев эти выборки можно считать принадлежащими к некоторой генеральной совокупности данных. Например, при исследовании ГРВ свечения пальцев, как правило, получаются небольшие выборки даже в динамическом режиме. Однако специально проведенное исследование показало, что при соблюдении условий съемки параметры свечения одного пальца хорошо аппроксимируются нормальным распределением. Это позволяет во многих случаях считать ГРВ данные выборками из генеральной совокупности с нормальным распределением. В то же время никто не помешает провести как параметрический, так и

непараметрический анализ. В случае сильных зависимостей их результаты, как правило, хорошо совпадают.

ГРВ изображения для экспериментальных исследований в основном обрабатываются в программе «ГРВ Научная Лаборатория». Она позволяет легко и быстро проводить статистические обработки, сохранять файлы параметров и исходные данные для последующего анализа. Кроме того, в программе также предусмотрен анализ данных на принадлежность выборки к нормальному или ненормальному распределению. Числовые массивы данных можно обрабатывать в стандартных программных средах, таких как Statistica, MS Excel, Mathcad. В частности, для анализа однородности данных и сопоставлении нескольких массивов данных наиболее часто применяются следующие статистические методы:

Т-критерий Стьюдента:

Критерий применяется для проверки гипотезы о равенстве средних двух выборок, имеющих нормальное распределение. *t*-критерий для зависимых выборок применяется в тех довольно часто возникающих на практике ситуациях, когда важный источник внутригрупповой вариации (или ошибки) может быть легко определен и исключен из анализа. Сущность *t*-критерия состоит в расчете межгрупповой разности, и сравнении ее с разностью. *t*-критерий для зависимых выборок использует только парные разности, "игнорируя" исходные численные значения и их вариацию. Таким образом, величина этой разности будет сравниваться не с разбросом исходных значений, а с разбросом индивидуальных разностей, который относительно мал.

Критерий Вальд-Вольфовитца:

Критерий применяется для проверки гипотезы, утверждающей, что две группы данных представляют случайные независимые выборки из одной генеральной совокупности, т.е. не отличаются друг от друга по наблюдаемому признаку.

Критерий Колмогорова-Смирнова:

Критерий применяется для проверки гипотезы о том, что две независимые выборки получены из одной генеральной совокупности, т.е. функции распределения двух генеральных совокупностей равны (в этом случае говорят, что генеральные совокупности однородны). Критерий не зависит от типа распределения, не накладывает условий на группирование данных и их число в интервалах, но не учитывает уменьшение степеней свободы при определении из выборки параметров эмпирического распределения. В связи с этим критерий дает несколько завышенную вероятность рассогласования сравниваемых выборок, особенно при их мелом объеме.

Критерий Манн-Уитни:

Применяется для сравнения двух независимых выборок, проверяет гипотезу, утверждающую, что выборки получены из однородных генеральных совокупностей и, в частности, имеют равные средние и медианы. Реализация данного критерия базируется на ранговом сравнении выборок и позволяет сравнивать выборки при относительно небольшом количестве проведенных измерений (от четырех измерений для каждой группы).

Критерий согласия Пирсона

Критерий Пирсона заключается в подсчете суммы $\chi 2$ - суммы из нормированных по теоретическим частотам квадратов расхождений между эмпирическими частотами двух выборок. Если частоты совпадают, x2 = O. В других случаях $\chi 2 > O$, и тем больше, чем значительнее расхождения.

Математическое ожидание распределения $\chi 2$ равно числу степеней свободы, мода меньше его на две единицы, медиана - меньше на единицу, и именно такая сумма χ^2 является наиболее достоверной для случайных расхождений между частотами.

6.2. Параметрические методы обработки данных. Тест Стьюдента

Статистический анализ и сравнение двух групп данных, выборка из которых имеет нормальное распределение, наиболее часто проводится по критерию Стьюдента (t-тест).

На практике часто встречается ситуация, когда необходимо провести сравнение двух групп результатов многократных измерений нормально распределенных величин x и y. Введем новую величину, t-критерий Стьюдента:

$$t = \frac{|M_1 - M_2|}{\sqrt{\frac{(N_1 - 1)\sigma_1^2 + (N_2 - 1)\sigma_2^2}{N_1 + N_2 - 2}\left(\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2}\right)}}, \qquad (6.1)$$

где M_1, M_2 – средние арифметические, σ_1, σ_2 – стандартные отклонения, а N_1, N_2 – размеры выборок.

При уровне значимости α выборки различны, если величина критерия Стьюдента удовлетворяет следующему условию:

$$|t| > t(\alpha, n). \qquad (6.2)$$

Значения коэффициента Стьюдента приведены в таблице 6.1. Если рассчитанное значение t больше приведенного в таблице для имеющегося размера выборки и требуемой достоверности, то по критерию Стьюдента можно сделать вывод о том, что выборки статистически различимы с достоверностью α. То есть уровню значимости 0.95 соответствует доверительная вероятность 95 %.

Таблица 6.1. Коэффициенты Стьюдента $t(\alpha, n)$ для доверительной вероятности α (n - количество измерений)

n	α			
	0,68	**0,95**	**0,99**	**0,999**
2	2,0	12,7	63,7	636,6
3	1,3	4,3	9,9	31,6
4	1,3	3,2	5,8	12,9
5	1,2	2,8	4,6	8,6
6	1,2	2,6	4,0	6,9
7	1,1	2,4	3,7	6,0
8	1,1	2,4	3,5	5,4
9	1,1	2,3	3,4	5,0
10	1,1	2,3	3,3	4,8
15	1,1	2,1	3,0	4,1
20	1,1	2,Г	2,9	3,9
30	1,1	2,0	2,8	3,7
50	1,1	2,0	2,7	3,5
100	1,0	2,0	2,6	3,4

6.3. Критерий Манна-Уитни (сравнение двух выборок)

Для доказательства статистически достоверного различия между двумя выборками можно использовать критерий Манна-Уитни. Минимальное количество значений в каждой выборке должно быть не менее четырех. Применительно к ГРВ исследованиям это означает, что после окончания экспериментов должно получиться две выборки значений площади и средней интенсивности как минимум по 4 в каждой. Статистически достоверное различие следует устанавливать по каждому из параметров в отдельности.

Для большей ясности приведём процесс вычислений на одном примере. Возьмем две выборки значений площади ГРВ-грамм по четыре в каждой. В ходе эксперимента, взятого в пример, исследовалась возможность регистрации увеличения концентрации соли KCl на 0,25 г/л в фильтрованной водопроводной воде (объемом 1 литр) на приборе ГРВ.

В таблице 6.2 приведены значения площади ГРВ-грамм, полученные при обработке результатов эксперимента.

Против каждого значения площади ГРВ-граммы указан его ранг – место в упорядоченном ряду. Рангом наименьшей величины будет 1; ранг наибольшей величины равен числу наблюдений, в нашем примере 8. Если значения совпадают, им присваивают один и тот же средний ранг

(например, если три значения поделили 2-е, 3-е и 4-е места, то надо сложить их значения 2+3+4=9 и разделить на их количество, то есть на три, тогда всем им присваивают ранг 3). После перехода к рангам исходные величины и совокупность их возможных значений не рассматриваются.

Таблица 6.2. Пример экспериментально полученных результатов и их ранжирования.

Образцы до воздействия		**Образцы после воздействия**	
Площадь, пикс.	**Ранг**	**Площадь, пикс.**	**Ранг**
6423	4	6607	8
6339	1	6498	5
6368	2	6577	7
6395	3	6513	6
	T = 10		T = 26

Если увеличение концентрации соли на 0,25 г/л увеличивает значения площади ГРВ-грамм, то ранги в группе образцов после воздействия должны быть больше, чем в группе образцов до воздействия. Мерой отличия избирается сумма рангов в любой группе и обозначается буквой T. В нашем примере значение T для выбранной группы образцов до воздействия равно 10.

Далее следует проверить, есть ли статистически значимая разница между двумя группами. Для этого надо сравнить полученное значения T с критическими значениями в таблице 6.3. Если T меньше или равно первому из них либо больше или равно второму, то различия статистически значимы.

Таблица 6.3. Критические значения критерия Манна-Уитни

Численность каждой группы	Приблизительный уровень значимости α					
	0,05			0,01		
	Критические значения		Точное значение α	Критические значения		Точное значение α
4	11	25	0,057	10	26	0,026
5	17	38	0,032	15	40	0,008
6	26	52	0,041	23	55	0,009
7	37	68	0,053	33	72	0,011
8	49	87	0,050	44	92	0,010

В нашем случае T=10, значит группы статистически различимы с уровнем значимости 0,026 (с вероятностью 97,4 %). Таким образом, можно сделать вывод, что прибор ГРВ позволяет зарегистрировать увеличение концентрации соли KCl в воде на 0,25 г/л.

7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящем учебно-методическом пособии представлены и рассмотрены:

- основные принципы компьютерной обработки данных;
- основы построения комплекса обработки и анализа изображения на примере метода газоразрядной визуализации;
- физические принципы метода ГРВ;
- основные модификации ГРВ приборов;
- анализ процесса формирования изображения газового разряда;
- алгоритмы расчета параметров изображений;
- основные принципы планирования эксперимента;
- основные статистические методы обработки результатов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коротков К.Г. Основы ГРВ биоэлектрографии. – СПб.: ИТМО (ТУ), 2001. – 356 с.
2. Коротков К.Г. Эффект Кирлиан. – СПб.: Ольга, 1995. – 218 с.
3. Коротков К.Г. От эффекта Кирлиан к биоэлектрографии. – СПб.: Ольга, 1998. – 341 с.
4. Коротков К.Г. Разработка научных основ и практическая реализация биотехнических измерительно-вычислительных систем анализа газоразрядного свечения, индуцированного объектами биологической природы: дис. док. техн. наук. – СПб.: СПбИТМО, 1999. – 93 с.
5. Коротков К.Г. Принципы анализа в ГРВ биоэлектрографии. – СПб.: «Реноме», 2007. 286 с.
6. Дроздов Д.А., Шацилло О.И. анализ ГРВ - биоэлектрографических изображений с позиций вегетологии. Труды международной конференции «Наука, Информация, Сознание», СПб, 2005, СС. 99-104.
7. 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.
8. 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
9. Коротков К.Г., Короткова А.К. Инновационные технологии в спорте: исследование психофизиологического состояния спортсменов методом газоразрядной визуализации. М: Советский спорт. 2008. 280 с.
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. Коротков К.Г., Гатчин Ю.А., Крылов Б.А. Физические механизмы и принципы построения систем ГРВ биоэлектрографии //Изв. вузов. Приборостроение. 2006. Т. 49, № 2, с.5-16.
18. 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.
19. 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.
20. Бабицкий М.А. Автоматизированное проектирование систем анализа динамических газоразрядных изображений. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. С-Петербург, СПбГИТМО, 2003.
21. Грановский В.Л. Электрический ток в газе. Установившийся ток. Наука, М. 1971;560с.
22. Merill F.H., Hippel A. // J. Appl. Phys. – 1939. – V. 10. – № 12. – P. 873.
23. Орлов Д.В. Методика проведения измерений объектов природной среды на программно-аппаратном комплексе газоразрядной визуализации (ГРВ). Методическое пособие. СПб, 2009. 47 с.

В 2009 году Университет стал победителем многоэтапного конкурса, в результате которого определены 12 ведущих университетов России, которым присвоена категория «Национальный исследовательский университет». Министерством образования и науки Российской Федерации была утверждена Программа развития государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики» на 2009–2018 годы.

КАФЕДРА ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ

1945-1966 РЛПУ (кафедра радиолокационных приборов и устройств). Решением Советского правительства в августе 1945 г. в ЛИТМО был открыт факультет электроприборостроения. Приказом по институту от 17 сентября 1945 г. на этом факультете была организована кафедра радиолокационных приборов и устройств, которая стала готовить инженеров, специализирующихся в новых направлениях радиоэлектронной техники, таких как радиолокация, радиоуправление, теленаведение и др. Организатором и первым заведующим кафедрой был д.т.н., профессор С.И. Зилитинкевич (до 1951 г.). Выпускникам кафедры присваивалась квалификация инженер-радиомеханик, а с 1956 г. – радиоинженер (специальность 0705).

В разные годы кафедрой заведовали доцент Б.С. Мишин, доцент И.П. Захаров, доцент А.Н. Иванов.

1966–1970 КиПРЭА (кафедра конструирования и производства радиоэлектронной аппаратуры). Каждый учебный план специальности 0705 коренным образом отличался от предыдущих планов радиотехнической специальности своей четко выраженной конструкторско-технологической направленностью. Оканчивающим институт по этой специальности присваивалась квалификация инженер-конструктор-технолог РЭА. Заведовал кафедрой доцент А.Н. Иванов.

1970–1988 КиПЭВА (кафедра конструирования и производства электронной вычислительной аппаратуры). Бурное развитие электронной вычислительной техники и внедрение ее во все отрасли народного

хозяйства потребовали от отечественной радиоэлектронной промышленности решения новых ответственных задач. Кафедра стала готовить инженеров по специальности 0648. Подготовка проводилась по двум направлениям – автоматизация конструирования ЭВА и технология микроэлектронных устройств ЭВА. Заведовали кафедрой: д.т.н., проф. В.В. Новиков (до 1976 г.), затем проф. Г.А. Петухов.

1988–1997 МАИ (кафедра микроэлектроники и автоматизации проектирования). Кафедра выпускала инженеров-конструкторов-технологов по микроэлектронике и автоматизации проектирования вычислительных средств (специальность 2205). Выпускники этой кафедры имеют хорошую технологическую подготовку и успешно работают как в производстве полупроводниковых интегральных микросхем, так и при их проектировании, используя современные методы автоматизации проектирования. Инженеры специальности 2205 требуются микроэлектронной промышленности и предприятиям-разработчикам вычислительных систем. Кафедрой с 1988 г. по 1992 г. руководил проф. С.А. Арустамов, затем снова проф. Г.А. Петухов.

С **1997 ПКС** (кафедра проектирования компьютерных систем). Кафедра выпускает инженеров по специальности 210202 «Проектирование и технология электронно-вычислительных средств». Область профессиональной деятельности выпускников включает в себя проектирование, конструирование и технологию электронных средств, отвечающих целям их функционирования, требованиям надежности, проекта и условиям эксплуатации. Кроме того, кафедра готовит специалистов по защите информации, специальность 090104 «Комплексная защита объектов информатизации». Объектами профессиональной деятельности специалиста по защите информации являются методы, средства и системы обеспечения защиты информации на объектах информатизации.

С **1996 г**. кафедрой заведует д.т.н., профессор Ю.А. Гатчин.

За время своего существования кафедра выпустила 4264 инженеров. На кафедре защищено 65 кандидатских и 7 докторских диссертаций.