

Исследование различия синтетических и натуральных эфирных масел при помощи метода динамической Газоразрядной визуализации¹

Vainshelboim A.,³ Коротков К.Г.², Крыжановский Э.², Борисова М.², Matravers P.¹, Momoh K.S.¹, Peterson P.¹, Hayes M.¹ and Shaath N.³

¹) Aveda Corporation, Minneapolis, USA. ²) St. Petersburg Institute of Fine Mechanics and Optics (Technical University), Russia. ³) Alpha Corporation, White Plains, USA

Метод динамической ГРВ-графии был использован для выявления различия между параметрами натуральных и синтетических масел, не имеющих различий по данным газовой хроматографии. Временные серии ГРВ параметров анализировались методами сингулярных спектров и спектрального Фурье анализа при помощи специально созданного ПО. Из 42 исследованных пар масел статистическая разница была выявлена в 33 случаях. Развитый метод позволяет различать не только химически идентичные натуральные и синтетические продукты, но и масла, полученные из растений разных регионов или разных способов культивации. Метод ГРВ-графии продемонстрировал высокую стабильность и воспроизводимость.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема выявления индивидуальных различий химически близких жидкостей, а также водных растворов слабой концентрации актуальна для медицины, биологии и косметологии [1].

В [2,3] была разработана методика исследования жидкостей путем изучения характеристик газового разряда вокруг капель. В этих работах было показано, что растворы сильных электролитов, таких как NaCl, KCl, NaNO₃, KNO₃, имеют различия по характеристикам газоразрядных изображений (ГРВ-грамм), как между соседними концентрациями одного раствора, так и между одинаковыми концентрациями различных растворов.

В данной статье показано, что при экспонировании капель проводящих (сильные электролиты) и слабо проводящих (эфирные масла) жидкостей в электромагнитном поле (ЭМП) в течение 2-10 секунд наблюдается закономерная динамика изменений характеристик газоразрядного свечения.

Исследование характеристик динамических рядов ГРВ-грамм различных жидкостей показало их значимость для выявления индивидуальных различий химически близких жидкостей как проводящих, так и слабо проводящих. Это позволяет ввести понятие динамической ГРВ-графии, как метода исследования жидкостей путем изучения изменения характеристик газоразрядного свечения вокруг капель жидкости, т.е. изменения параметров ГРВ-грамм во времени.

¹ Английский вариант статьи опубликован: 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.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Калиброванная капля исследуемой жидкости подвешивается на расстоянии 3 мм от оптического электрода с электропроводящим покрытием, на которое подаются импульсы напряжения от специализированного генератора [1]. Формирующееся в пространстве электромагнитное поле высокой напряженности вызывает оптоэлектронную эмиссию с поверхности жидкости и в газовой среде, которая регистрируется ПЗС камерой, приводя к формированию последовательности компьютерных BMP файлов.

ГРВ-спектрография использует небольшие «видеофильмы», фиксирующие не отдельные кадры, захваченные во время разряда, а развитие изображения газового разряда в течение всего времени экспозиции.

В данном исследовании жидкости подвергались воздействию электромагнитного поля в течение 2-х и 8-ми секунд, соответственно. Визуализация взаимодействия и его запись осуществлялась в виде видеофильма с частотой 30 кадров в секунду. Полученные изображения обрабатывались с вычислением группы параметров. Таким образом, получались временные ряды с равными интервалами ≈ 0.034 секунды, где в качестве случайной используются различные параметры ГРВ-грамм – площадь и интенсивность засветки, энтропия, фрактальность и другие.

При развитии разряда исследуемый объект включается в цепь протекания электрического тока разряда, а вдоль поверхности диэлектрика, закрывающего один из электродов, создается продольная компонента электрического поля высокой напряженности. Развивающийся в импульсе напряжения газовый разряд служит как бы усилителем сверхслабых эмиссионных процессов, протекающих на поверхности объекта, и в то же время поверхностное распределение разрядных каналов зависит от топографии электрофизических характеристик объекта. Схема прибора для исследования характеристик газоразрядного свечения различных объектов, а также принципы формирования изображений описаны в работах [1, 3].

ГРВ-грамма представляет собой сложную двумерную фигуру. Каждый пиксель характеризуется своей яркостью, кодируемой целым числом в диапазоне от 0 («черное») до 255 («белое»). Геометрические параметры ГРВ-грамм (например - площадь изображения, определяемая как сумма пикселей выше заданного порога яркости), несут информацию о характеристиках объекта. К примеру, как показано в [1] при повышении концентраций ионов в жидкости площадь засветки увеличивается, а ширина стримеров уменьшается. Для включения подобных данных в структуру комплексного физического эксперимента необходима количественная обработка получаемых изображений.

ГРВ-граммы растворов электролитов, как и в предыдущем исследовании [1], были получены путем подвешивания капли раствора над поверхностью электрода на расстоянии 3 мм. При исследовании эфирных масел проба масла помещалась в цилиндрическую лунку высотой 2 мм и диаметром 6 мм на стеклянной пластине. Объем пробы подбирался минимальным, но таким образом, чтобы в конце разряда, через две секунды, масло равномерно покрывало дно лунки. Оптимальным оказался объем равный $4 \cdot 10^{-3}$ мл. Это количество вводилось стандартным дозатором. Далее, жидкость заземлялась с помощью металлического стержня.

Нужно заметить, что некоторые эфирные масла даже при незначительном понижении температуры застывают. Кроме того, формирование газового разряда

чувствительно к сильному перепаду температур и относительной влажности. Поэтому необходим тщательный контроль за стабильностью указанных физических характеристик.

Все исследования проводились в диапазоне температур от 21 до 23°C и относительной влажности от 42 до 44%.

МЕТОДИКА АНАЛИЗА ДАННЫХ

Изучаемые в настоящей работе временные ряды, представляли собой изменения параметра площади засветки и средней интенсивности изображения во времени.

Максимальная частота дискретизации имела значение - 30Гц. Данная величина обусловлена техническими характеристиками системы оптических параметров камеры и мощностью компьютера.

В силу малости частоты дискретизации по отношению к частоте подаваемых на объект импульсов - 1000Гц для выявления значимых различий в временных рядах характеристик ГРВ-грамм жидкостей, частотные характеристики в диапазоне до 30 Гц не рассматривались. Были исследованы детерминированные составляющие - тренды методом сравнения усредненных временных серий по соответствующим выборкам исследуемых жидкостей. Усреднения проводились по выборкам из 10 измерений, что при критерии значимости в 5% составляло 75% чувствительности эксперимента, что является достаточным для оценки статистической значимости данных при сравнении различных жидкофазных объектов.

В настоящей работе фильтрация шума и сглаживание проводилось методом скользящего среднего. При одновременном анализе нескольких временных серий случайного процесса для средних значений в различные моменты времени использовался критерий Фишера [7].

Была построена математическая модель для описания поведения трендов параметров ГРВ-грамм.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

Целью настоящего анализа явилось:

1. Исследование с помощью динамической ГРВ-графики особенностей характеристик процесса ГРВ проводящих жидкостей (сильных электролитов) во времени. Это существенно дополняет результаты статистического анализа параметров одиночных ГРВ - грамм [3]. Исследования также были направлены на выявление концентрации раствора NaCl, при которой пропадает различие между растворами электролитов и дистиллированной водой.

2. Исследование особенностей динамики ГРВ-грамм слабо проводящих жидкостей, позволяющей выявить различия между образцами, имеющих близкий химический состав. В данном исследовании слабо проводящие жидкости были представлены следующими маслами: натурального и синтетического, регулярного и органического происхождения, а также маслами, имеющие различия в оптической активности, месте получения и способе обработки. Всего рассматривалось 42 пары масел.

Воспроизводимость данной методики была продемонстрирована на примерах исследования тест-объекта – сплава из титана, имеющего форму цилиндра. Для объекта было сделано 30 измерений. Данный объем выборки обеспечивал статистическую

значимость с 95% чувствительностью эксперимента. На рисунке 1 видно, что погрешность измерения в каждой точке временной серии составляет не более 5%.

Монотонно убывающий вид тренда обусловлен следующим физическим явлением. Взаимодействие исследуемого объекта с ЭМП высокой напряженности, образует ионное «облако» вблизи поверхности данного объекта. Рост концентрации ионов приводит к уменьшению подвижности электронов вблизи поверхности исследуемого объекта, а, следовательно к уменьшению площади засветки газового разряда, при росте концентрации электронов, меньшем росту концентрации ионов [8].

Анализ данных по исследованию сильных электролитов.

Вид трендов площади засветки для высоких концентраций растворов электролитов принципиально отличается от вида тренда для дистиллированной воды. В первом случае тренд имеет вид монотонно убывающей функции, а во втором монотонно возрастающей функции. Аппроксимация данных трендов степенной функцией

$$y = Ax^{\alpha} + B \quad (1)$$

показала, что производная этой функции по времени является отрицательной для растворов электролитов и положительной для дистиллированной воды. Кроме того, абсолютное значение параметра α убывает с разбавлением раствора от значения 0.35 для однонормального раствора до 0.08 для концентрации 2^{-14} .

В области 2^{-14} разбавления пропадают статистически значимые различия во всех точках временных рядов площади засветки между раствором и дистиллированной водой, однако, направления тренда при этом не меняется на противоположное, иначе говоря, параметр α остается отрицательным (рис.2).

Те же зависимости, но с противоположным направлением трендов, т.е. α положительным для растворов и отрицательным для дистиллированной воды, мы имеем при рассмотрении другого параметра ГРВ – средней интенсивности засветки.

Различие в знаках α при одинаковых абсолютных значениях, говорит о принципиально разных физических процессах, проходящих при поверхности исследуемых капель масел. По-видимому, в первом случае длина свободного пробега электронов увеличивается в образовавшейся при взаимодействии масла и ЭМП плазме, а во втором случае, длина свободного пробега уменьшается.

При сравнении данных временных серий для средней интенсивности засветки ГРВ-грамм тех же жидкостей параметр α обычно имеет значение с обратным знаком, что говорит об интенсивном и локализованном выбросе фотонов при торможении электронов в приповерхностной плазме.

Как было показано в [3] параметры ГРВ-грамм сильных электролитов имеют различия не при всех концентрациях растворов. Так было показано, что при однонормальных разведениях растворов NaCl и KCl соответствующие средние по выборкам одиночных ГРВ-грамм не имеют статистически значимых различий.

Анализ соответствующих детерминированных составляющих временных серий площадей засветки ГРВ-грамм показал, что данные растворы имеют статистически значимые различия, которые проявляются с 0.3-ей до 6-ой секунды с начала воздействия на растворы ЭМП (рис.3).

Значение параметра α составляет -0.04 для раствора NaCl и -0.01 для раствора KCl.

По параметру средней интенсивности засветки значимых различий обнаружено не было.

В работе [3] при сравнении однонормальных растворов KCl и KNO₃ также не было выявлено статистически значимых различий по выборке одиночных ГРВ-грамм. Не видно это различие и при сравнении соответствующих временных серий площади засветки. Однако различия наблюдаются при рассмотрении динамики параметра средней интенсивности засветки (рис.4). При близких значениях параметра α , т.е. практически сходному поведению трендов, абсолютные параметры B , имеют статистически значимые различия.

Надо отметить, что одно из основных различий сильно проводящих жидкостей от слабо проводящих, проявляется в виде тренда функции площади засветки от времени. Эту же закономерность мы наблюдаем и в случае с такими слабо проводящими жидкостями как эфирные масла.

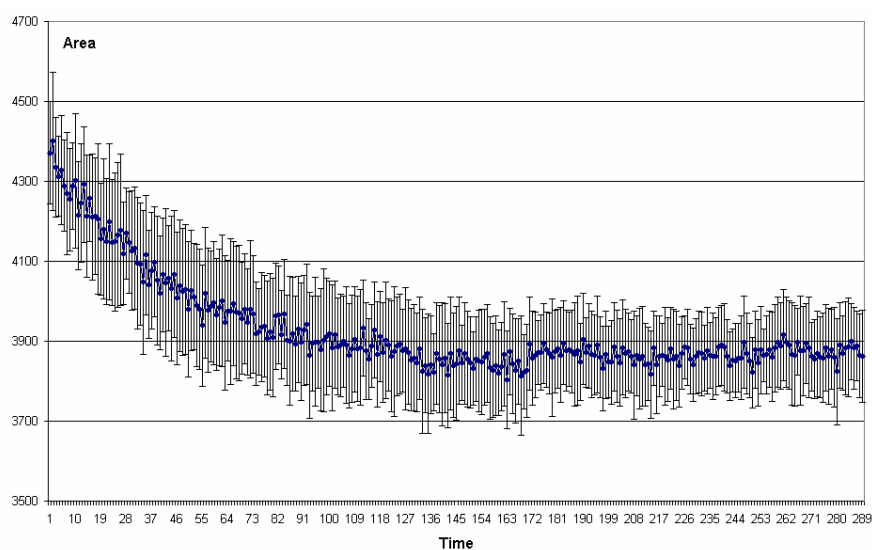


Рис.1. Зависимость площади засветки тест-объекта от времени

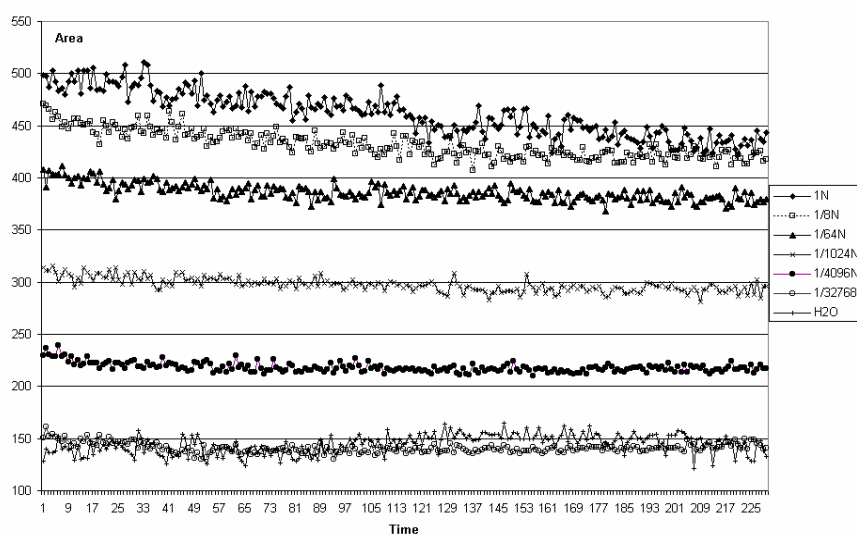


Рис.2. Зависимость площади засветки ГРВ для различных разбавлений раствора NaCl и дистиллированной воды от времени

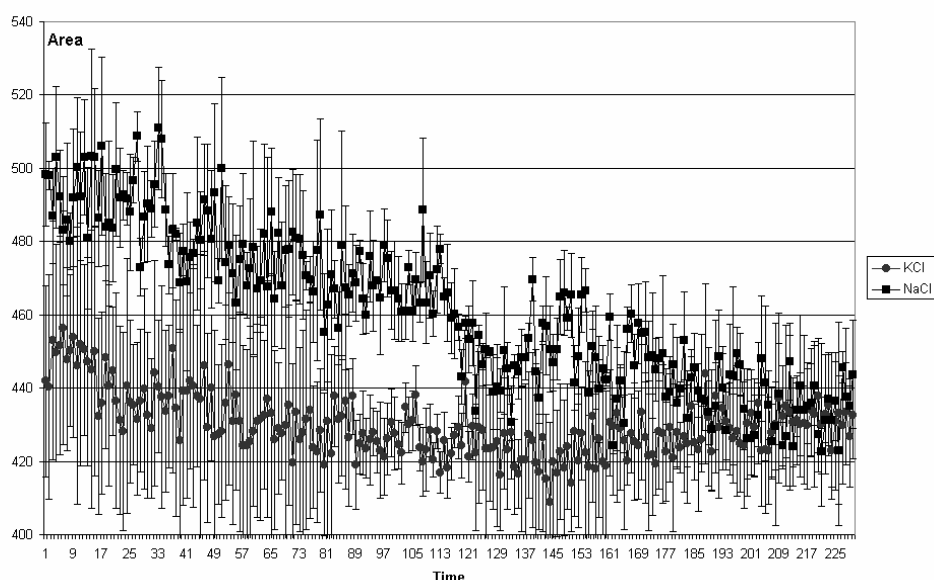


Рис.3. Зависимость площади засветки для растворов NaCl и KCl от времени

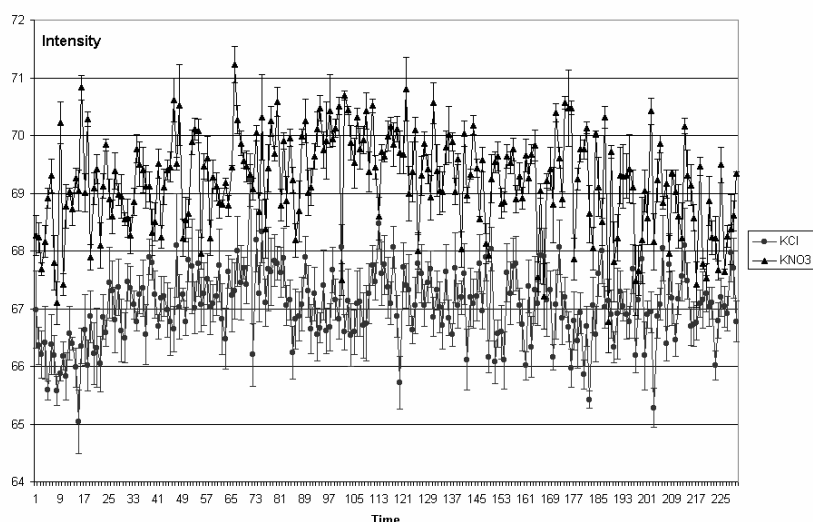


Рис.4. Зависимость средней интенсивности засветки ГРВ для растворов KCl и KNO₃ от времени

Анализ данных по исследованию масел

Из более чем 60-ти видов рассматриваемых масел, только у 3-х образцов тренды имели вид убывающей функции. Однако, в отличие от сильно проводящих жидкостей, данные три вида масел имели квазилинейную временную зависимость площади засветки и небольшую скорость изменения тренда ($\alpha \sim 10^{-3}$). Все 42 пары исследуемых масел не имели различий по данным анализа методом газовой хроматографии.

Метод динамической ГРВ-графии показал большое преимущество в исследовании слабо проводящих жидкостей перед стандартной съемкой одиночных ГРВ-грамм. Покажем это на следующих примерах.

При исследовании масел Marocco Rose, Bulgarian Rose и Russian Rose временные серии для площадей засветки одинаковы в начальный момент регистрации ГРВ процесса. Однако, менее чем через секунду, тренды начинают разбегаться во времени и становятся статистически значимо различимы (рис.5). Значение α в функции аппроксимации у масел

составили $2 \cdot 10^{-2}$, $7 \cdot 10^{-3}$ и $-2 \cdot 10^{-2}$, соответственно. Различие в знаках α для масел Marocco Rose и Russian Rose при одинаковых абсолютных значениях, говорит о принципиально разных физических процессах, проходящих при поверхности исследуемых капель масел, так как предположено выше.

При сравнении данных временных серий для средней интенсивности засветки ГРВ-грамм масел, различий в маслах Marocco Rose и Bulgarian Rose обнаружено не было, однако последние статистически значимо отличались от Russian Rose с теми же соотношениями параметра α и с обратными знаками.

При исследовании масел Citral Natural и Citral Synthetic было показано, что при взаимодействии с ЭМП, данные масла резко меняют характер свечения примерно на 1.7 секунде после подачи импульсов ЭМП. При этом параметр α для временных серий площади засветки меняет свое значение с $-6 \cdot 10^{-2}$ на $5 \cdot 10^{-3}$. Т.е. в согласии с вышеизложенным предположением, длина пробега электронов в приповерхностной плазме, уменьшалась до 1.7 секунды, а потом начала возрастать до 3-ей секунды, где стабилизировалась. Параметр α для временных серий средней интенсивности, как и в случаях, приведенных выше, меняется также, но с обратным знаком. При этом масла Citral Natural и Citral Synthetic, сходные по поведению трендов, имеют статистически значимые различия по абсолютным значениям усредненных реализаций параметров площади засветки (рис.6). По временным сериям средней интенсивности значимых различий выявлено не было. Отмеченный резкий переход в режиме свечения после 1.7 секунды может быть связан с переструктурировкой и изменению физико-химических свойств данных видов масла в импульсном ЭМП.

Аналогичные результаты были получены при исследовании большой группы масел. Например, для натурального масла Bitter Almond и синтетического аналога Synthetic Benzaldehyde хроматограммы практически идентичны, т.к. они содержат натуральный или синтетический бензальдегид, в то время как ГРВ-граммы данных образцов показали статистически значимую разницу примерно через 3 секунды приложения ЭМП.

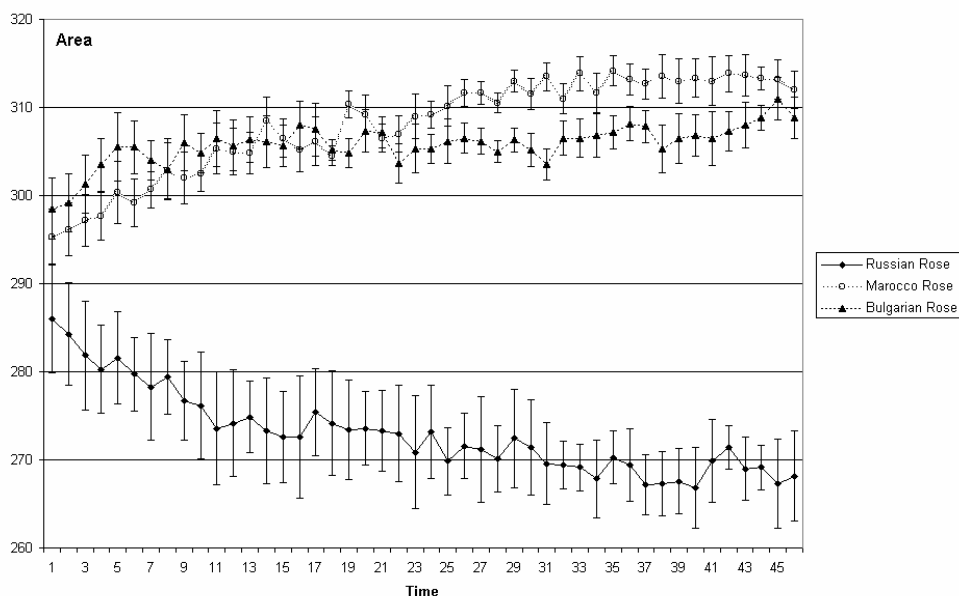


Рис.5. Зависимость площади засветки ГРВ для масел розы различного происхождения

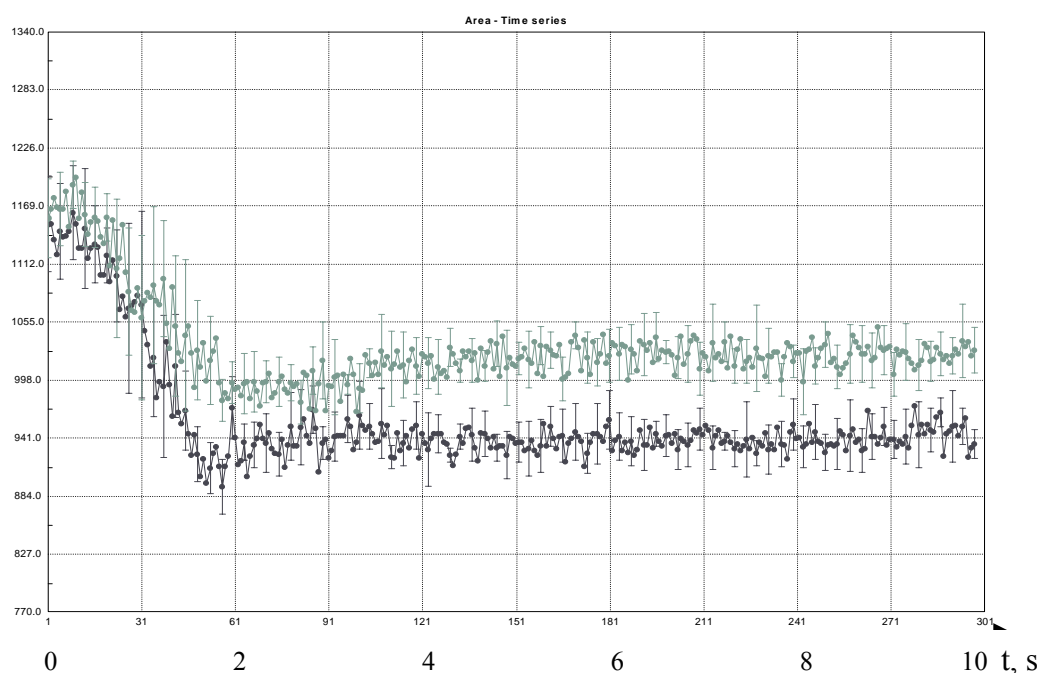


Рис.6. Зависимость площади засветки ГРВ для масел Citral Natural и Citral Synthetic

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Для адекватного описания полученных результатов необходимо разобраться во всем комплексе физико-химических процессов, проходящих в системе жидкость-плазма газового разряда (ГР) и ЭМП.

После пробоя возникает канал плазмы в парах исследуемой жидкости, в котором генерация химически активных частиц происходит в газовой фазе под действием электронов, ускоряемых полями, характерными для импульсных разрядов.

Прохождение тока разряда через жидкость приводит к возникновению на границах раздела плазма - раствор скачков потенциала. Следствием этого является перенос через границу раздела фаз из раствора в плазму нейтральных и заряженных частиц (эмиссия заряженных частиц).

Действие разряда на растворы электролитов сопровождается диссоциацией молекул растворителя. Химические взаимодействия образующихся активных частиц ведут к изменению свойств раствора в целом. Подобные изменения происходят и при действии разряда на масла.

Поскольку, изменения в исследуемой жидкости приводят к изменению состава и конфигурации плазмы, то это приводит к изменению таких характеристик газового разряда, как площадь засветки и средняя интенсивность изображения.

Силы ЭМП, поверхностного натяжения и гравитации, а также испарение, давление и температура влияют на образование и форму ГР. Физико-химические взаимодействия в жидкости, плазме и на разделе фаз с указанными силами и испарением определяют

динамику ГР, а следовательно, определяют структуру временных серий площади засветки ГР.

В результате бомбардировки раствора инжектируемыми из плазмы энергичными ионами происходит ионизация и диссоциация молекул воды с образованием радикалов $H\cdot$, $OH\cdot$ и сольватированных электронов. Это приводит к генерации и накоплению в растворе пероксида водорода H_2O_2 . Следует также учитывать возможность образования ионов NO_2^- . Однако, известно, что спектры поглощения всех исходных исследованных растворов, а также пероксида водорода и нитрит-ионов лежат в области длин волн $\lambda < 254$ нм. Оптический спектр экспериментальной установки составляет 400-800 нм. Поэтому возникновение указанных соединений не может определять формирование ГРВ-грамм.

Монотонно убывающий вид тренда обусловлен следующим физическим явлением. Взаимодействие исследуемого объекта с ЭМП высокой напряженности, образует ионное «облако» вблизи поверхности данного объекта. Рост концентрации ионов приводит к уменьшению подвижности электронов вблизи поверхности исследуемого объекта, а следовательно к уменьшению площади засветки газового разряда, при росте концентрации электронов, меньшим росту концентрации ионов. Монотонно возрастающий вид тренда обусловлен значительным превышением роста концентрации электронов, относительно роста ионов вблизи поверхности исследуемого объекта.

Однако, при исследовании масел возможна генерация и накопление других соединений со спектром поглощения, совпадающим со спектром, регистрируемым оптической системой экспериментальной установки. Такие соединения могут явиться причиной убывания тренда площади засветки ГРВ-грамм исследуемого масла.

Известно, что в открытой неустойчивой, нелинейной и неравновесной системе могут возникать периодически повторяющиеся структуры. Предполагая, что под влиянием импульсного ЭМП и последующих физико-химических взаимодействий в жидкости возникают периодические структуры с суммарным диполем, изменяющим значения скачков потенциала на границах раздела плазма – жидкость, то логично предположить, что плазма ГР будет синхронно реагировать на соответствующие периодические изменения. Такие изменения должны отражаться на спектральных функциях временных серий площади засветки ГРВ-грамм. Однако, для получения высоко воспроизводимых спектральных функций необходимо иметь большую частоту дискретизации.

Таким образом, можно предположить, что воспроизводимые различия временных серий, как различных концентраций электролитов, так и масел различного происхождения проявляются за счет самоорганизации исследуемых жидкостей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведение исследования как проводящих, так и слабо проводящих жидкостей показало, что этот метод динамической ГРВ-графии позволяет выявлять статистически значимые различия при сравнении широкого спектра жидкостей. Различия проявляются в изменении вида детерминированных составляющих временных рядов площади засветки и средней интенсивности ГРВ-грамм. Полученные данные позволяют выявить свойства и различия исследуемых объектов, которые не проявляются при исследовании статических изображений.

2. Было показано, что все концентрации растворов сильных электролитов NaCl, KCl, NaNO₃, KNO₃ имеют вид тренда монотонно убывающей функции, и монотонно возрастающей функции для дистиллированной воды.

3. Было выявлено 2^{-14} разведение, при котором пропадает статистически значимое различие между растворами электролитов и дистиллированной водой по абсолютным значениям в течение времени экспозиции, однако форма тренда данного разведения не переходит в форму тренда дистиллированной воды.

4. Динамическая ГРВ-графика позволила выявить различия в динамических характеристиках слабо проводящих жидкостей, не отличающихся по анализу данных газовой хроматографии.

5. При исследовании слабо проводящих жидкостей - 42 пар масел, имеющих близкий химический состав, что было подтверждено отсутствием различий при исследовании методом газовой хроматографии, в 33-х случаях были выявлены статистически значимые различия. В 10-ти случаях были выявлены статистически значимые различия как по площади засветки, так и по средней интенсивности свечения. В 12 случаях различия были найдены только по площади засветки и в 11 случаях по средней интенсивности засветки.

6. Параметр α , введенный для аппроксимации динамических кривых функцией $y = Ax^\alpha + B$ наглядно демонстрирует два основных процесса свойственных поведению динамических кривых. Положительные значения α при аппроксимации временных серий площади засветки, длина свободного пробега электронов увеличивается в образовавшейся при взаимодействии масла и ЭМП плазме, а в случае отрицательных значений, длина свободного пробега уменьшается.

7. При сравнении данных временных серий для средней интенсивности засветки ГРВ-грамм тех же жидкостей параметр α обычно имеет значение с обратным знаком, что, по-видимому, говорит об интенсивном и локализованном выбросе фотонов при торможении электронов в приповерхностной плазме.

ЛИТЕРАТУРА

2. Ultra High Dilutions – Physiology and Physics. (Endler, Ed. Kluuiver Acad. Pub., 1994)
3. M.Skarja, M.Berden and J.Jerman, J. Appl. Phys., 84, 2436, (1998)
4. K. Korotkov and D. Korotkin, J. Appl. Phys., 89, 4732, (2001)
5. E. Nasser, Fundamentals of gaseous ionization and plasma electronics, (Wiley-Interscience, N.Y., Toronto et al, 1971)
6. J.S. Bendat and A.G.Piersol, Random Data: Analysis and Measurement Procedures (Wiley-Intersci. NY. 1986)
7. R. B. Blackman and J. Tukey, The measurement of power spectral from the point of view of communication engineering. NY: Dover. (1958)
8. R. A. Fisher, Statistical Methods for Research Workers (6th ed.). Edinburgh: Oliver and Boyd. (1936)
9. Коротков К.Г. Основы ГРВ биоэлектрографии. – СПб, Изд-во СПбГИТМО, 2001. 360с

Таблица. Результаты исследования некоторых пар масел.

Oils	Spectral Fourier analysis	Fisher criteria	Trend analysis
Peppermint organic v.s. Peppermint regular	Y	Y	N
Cloveland organic v.s. Cloveland regular	N	Y	Y
Algerian Jasmine v.s. Indian Jasmine	Y	Y	Y
Algerian Jasmine v.s. Moroccan Jasmine	Y	Y	Y
Indian Jasmine v.s. Moroccan Jasmine	N	N	N
CP Valencia FCC Orange v.s. Midseason FC Orange	Y	Y	N
CP Valencia FCC Orange v.s. Brazil C.P. High Ald Orange	Y	Y	N
Brazil C.P. High Ald Orange v.s. Midseason FC Orange	Y	Y	N
Bulgarian Rose v.s. Bulgarian (Otto) Rose	Y	Y	N
Bulgarian Rose v.s. Bulgarian Alba Organic Rose	Y	N	Y
Bulgarian Rose v.s. Russian Rose	N	Y	Y
Bulgarian (Otto) Rose v.s. Bulgarian Alba Organic Rose	Y	N	Y
Bulgarian (Otto) Rose v.s. Moroccan (Otto) Rose	Y	Y	N
Bulgarian (Otto) Rose v.s. Russian Rose	Y	Y	Y
Bulgarian (Otto) Rose v.s. Turkish Bulgarian Type Rose	Y	Y	N
Bulgarian Alba Organic Rose v.s. Moroccan (Otto) Rose	Y	N	Y
Bulgarian Alba Organic Rose v.s. Russian Rose	Y	Y	Y
Bulgarian Alba Organic Rose v.s. Turkish Bulgarian Type Rose	Y	Y	Y
Moroccan (Otto) Rose v.s. Russian Rose	N	Y	Y
Bulgarian Rose v.s. Moroccan (Otto) Rose	N	N	N
Bulgarian Rose v.s. Turkish Bulgarian Type Rose	N	N	N
Moroccan (Otto) Rose v.s. Turkish Bulgarian Type Rose	N	N	N
Russian Rose v.s. Turkish Bulgarian Type Rose	N	Y	Y
Dextro Carvone v.s. Laevo Carvone	Y	Y	N
Dextro Linalool v.s. Laevo Linalool	Y	Y	N
Linalool synthetic v.s. Linalool ex. Bergamot	Y	Y	Y
Linalool synthetic v.s. Linalool ex. Bois de Rose	Y	Y	N
Linalool synthetic v.s. Linalool ex. Pinene	N	Y	N
Linalool synthetic v.s. Linalool ex. Shiu Oil	Y	Y	N
Lime Oil Italian Refrigerated v.s. Lime Oil Italian Oven treated@120F	Y	Y	N
Lime Oil Italian Refrigerated v.s. Lime Oil Italian Xenon Arc treated	Y	N	N
Lime Oil Mexican Refrigerated v.s. Lime Oil Mexican Oven treated@120F	Y	Y	Y

Y – выявлено разли характеристик; N – различия не выявлено.