

Математическое моделирование процессов динамической газоразрядной визуализации жидкофазных объектов

Крыжановский Э.В., Короткина С.А.

Биоэнергетические технологии

E-mail: edward@bioentech.ru

Проблема выявления особенностей физико-химических свойств жидкостей, анализ их устойчивости, динамики, способности к самоорганизации и прогноза поведения в открытых системах при различных внешних воздействиях, является актуальной для медицины, физики, химии, биологии и косметологии.

Многие из известных традиционных физико-химических методов анализа, имеющих высокую точность для определения физических и химических свойств водных систем, имеют свои ограничения при исследовании жидкостей, близких по химическому составу или физическим характеристикам.

Так, газовая хроматография, имеющая высокую точность в определении химического состава исследуемого вещества в ряде случаев, не способна выявить различий у таких жидкостей, как натуральные масла и их синтетические аналоги, а также высоких разведений водных и спиртовых растворов. Кроме того, многие физико-химические методы требуют больших эксплуатационных и временных затрат.

Результаты исследований последних лет показали, что в качестве метода, способного выявить слабые изменения физико-химических свойств в жидкофазных объектах, может выступать метод динамической газоразрядной визуализации (ГРВ-графия) [1].

Сущностью метода динамической ГРВ-графии является изучение временных рядов характеристик газового разряда, индуцируемого объектом, помещенным в электромагнитное поле (ЭМП) высокой напряженности в течение времени экспозиции. При этом характеристики газового разряда являются отражением как внутренних свойств самих исследуемых объектов, так и свойств внешней среды и электромагнитного поля.

Для практического применения метода ГРВ были разработаны числовые характеристики газоразрядного изображения и математические модели, описывающие процессы динамической газоразрядной визуализации жидкофазных объектов.

Разработаны методики и алгоритмы для автоматизированной системы регистрации и анализа динамики газового разряда вокруг жидкофазных объектов на базе развитых математических моделей и методов

Математические модели можно разделить на три класса:

- Математические модели статистического анализа временных рядов характеристик ГРВ изображений.
- Математические модели анализа фрактальной размерности и кумулятивной энтропии временных рядов характеристик ГРВ изображений.
- Математические модели физических процессов, выражаемых особенностями временных рядов характеристик ГРВ изображений.

Были разработаны алгоритмы для автоматизированной системы анализа характеристик ГРВ-грамм методами спектрального анализа и анализа сингулярных спектров (модифицированного анализа главных компонент). Для определения фрактальной размерности временного ряда был использован алгоритм Хигучи.

Принципиально новой моделью явилось представление газового разряда в виде фрактального кластера. Это позволило путем перехода от физики кластера к кинетике ионизации описать физический смысл направлений трендов во временных рядах характеристик ГРВ-грамм.

Было выведено выражение для электромагнитного поля вблизи фрактального кластера

$$E(x, t) = E_0 \exp \left[iqx - i\omega t + \left(\frac{\nu_i}{p - d_f} - \nu_d \right) t \right], \quad (1)$$

где q – волновой вектор; ν_i – частота ионизации, ν_d – частота диффузионных потерь $\nu_d = Dq^2$, D – коэффициент диффузии частиц, ω – частота электромагнитной волны.

Таким образом, показано, что ЭМП излучающего кластера является функцией от частот ионизации и диффузионных потерь, а также фрактальной размерности кластера. Откуда следует, что при $\nu_i > (p - d_f)\nu_d$ тренды в выражении (1) будут возрастающими, при $\nu_i < (p - d_f)\nu_d$ тренды будут убывающими, а в случае $\nu_i \approx (p - d_f)\nu_d$ тренды будут иметь периодический, квазистационарный вид.

Как следует из (1), изменение фрактальной размерности газоразрядного свечения может изменить направление тренда временного ряда параметров ГРВ-грамм.

Выражение (1) для ЭМП вблизи капли жидкости показало высокую достоверность при анализе экспериментальных данных в виде временных рядов параметров ГРВ изображений с учетом известных физических характеристик изучаемых жидкостей.

На основании проведенной работы были достигнуты следующие результаты:

- Разработаны математические модели, позволяющие предсказывать поведение жидкостей определенного класса во взаимодействии с ЭМП высокого напряжения.
- Разработаны методики и алгоритмы для автоматизированной системы регистрации и анализа динамики газового разряда вокруг жидкофазных объектов на базе развитых математических моделей и методов.
- Выявлены различия в динамике характеристик ГРВ-грамм близких по химическому составу химически чистых электролитов.
- Доказана возможность применения метода динамической газоразрядной визуализации для выявления различий натуральных и синтетических масел с одинаковым химическим составом.