

ФИЗИКА ПЛАЗМЫ

УДК 537.226

DOI: 10.17223/00213411/69/1/6

Определение подвижностей ионов в диэлектрических жидкостях на основе токовых характеристикД.В. Журавлев¹, С.А. Васильков¹¹ Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия

Предложена методика определения подвижностей ионов в слабопроводящих диэлектрических жидкостях на основе анализа ампер-секундных характеристик. Метод протестирован с использованием численного моделирования в системе электродов нить – цилиндр и позволяет отдельно восстанавливать подвижности положительных и отрицательных ионов. Особенностью подхода является возможность анализа подвижностей естественных ионов, возникающих за счет диссоциации, без инъекции или внешней ионизации.

Ключевые слова: электродинамика, диэлектрическая жидкость, подвижность ионов, ампер-секундная характеристика, вольт-амперная характеристика, численное моделирование.

Введение

Подвижность ионов в жидких диэлектриках – один из ключевых параметров, характеризующих способность заряженных частиц перемещаться под действием электрического поля. Точные значения подвижности ионов необходимы для анализа, разработки и оптимизации различных технологических процессов, связанных с электрогидродинамическими (ЭГД) явлениями.

Важным является изучение подвижности ионов в изоляционных материалах, таких как трансформаторные масла и маслонеполненная бумага, используемых в высоковольтной технике [1]. Знание значений подвижности позволяет проводить точный анализ надежности и срока службы изоляции, а также лучше понимать механизмы электрической проводимости, особенно в условиях высоких напряжений и температур.

Точные значения подвижности также необходимы при анализе и разработке ЭГД-насосов и электрогидродинамических систем теплоотвода. В работе [2] было показано, что подвижность ионов играет ключевую роль в определении эффективности ЭГД-насоса, основанном на униполярной инъекции зарядов: чем ниже подвижность ионов, тем выше эффективность работы насоса. Для ЭГД-насоса проводимости (EHD-conduction pump) критически важным фактором является соотношение подвижностей ионов разного знака, что показано в исследованиях [3, 4].

Несмотря на важность точного знания подвижности ионов, существующие методы ее определения нередко сопряжены с серьезными ограничениями. Основные трудности связаны с необходимостью искусственной генерации зарядов, сложностью интерпретации получаемых данных и невозможностью отдельного определения подвижностей положительных и отрицательных ионов.

На практике исследователи электрогидродинамических явлений часто сталкиваются с отсутствием достоверных экспериментальных данных о подвижности ионов в конкретных жидкостях. В таких случаях прибегают к косвенной оценке, наиболее распространенной формой которой является использование правила Вальдена [5–10]. Этот подход устанавливает связь между подвижностью иона и вязкостью среды, предполагая, что ионы можно рассматривать как сферические частицы, перемещающиеся в вязкой жидкости под действием электрического поля. Однако применение этого метода требует знания гидродинамического радиуса иона – параметра, сильно зависящего от состава и свойств конкретной жидкости, что ограничивает точность получаемых оценок.

Одним из основных подходов к измерению подвижности является метод пролета, в котором фиксируется время перемещения ионов между электродами под действием электрического поля. На его основе рассчитывается подвижность как отношение пройденного расстояния к произведению времени и напряженности поля.

Однако ключевым недостатком является то, что он требует дополнительной генерации ионов – обычно за счет внешнего воздействия: ионизации [11], фотоэмиссии [12] или инъекции зарядов