

EDN: TVLUGH  
УДК 678.8:546

2.2.6

## ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ПЕРФТОРСУЛЬФОНОВЫХ МЕМБРАН

*Н.А. Лапатин<sup>1</sup>, Е.А. Карулина,<sup>2</sup> Р.А. Кастро<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет  
промышленных технологий и дизайна»; ПРОМТЕХДИЗАЙН  
191186, г. Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, д. 18

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО РГПУ им. А. И. Герцена, РГПУ им. А. И. Герцена  
191186, г. Санкт-Петербург, Наб. реки Мойки, д. 48

**Аннотация.** Были исследованы полимерные материалы на основе перфторсульфоновых мембран при введении примеси металлов тербия и европия ( $\text{EuCl}_3$  и  $\text{TbCl}_3$ ) методом диэлектрической спектроскопии. Выявлены влияние частоты приложенного электрического поля на диэлектрическую проницаемость материалов и наличие максимумов потерь, что свидетельствует о существовании релаксационных процессов различной природы.

**Ключевые слова:** полимер, перфторсульфоновые мембраны, диэлектрическая спектроскопия, релаксация, тербий, европий.

### Введение

Улучшение транспортных характеристик мембраны MF-4SK модифицированной солями редкоземельных элементов (РЗМ) и расширение температурного диапазона ее эксплуатации возможны после установления механизмов электропереноса и оценки роли различных факторов (природы и количества допанта и т.д.) в обеспечении процессов ионного транспорта. Целью данной работы явилось установление особенностей поляризационных процессов в мембране и их связь со структурой системы РЗМ - мембрана.

### Материалы и методы

Объект исследования – перфторсульфоновая мембрана- MF-4SK (АО «Пластполимер»), толщиной  $215.0 \pm 0.5$  мкм и площадью  $\sim 2$  см<sup>2</sup>.

1. Подготовка мембран к исследованию (предварительная очистка и модификация мембран.
2. Спектрофотометрия, Фурье-ИК-спектроскопия на Фурье-спектрометре ФСМ-1202 в диапазоне 400-5000 см<sup>-1</sup> с приставкой МНПВО.
3. Диэлектрическая спектроскопия на спектрометре «Консерт-81» (температурно-частотные зависимости диэлектрических параметров, интервал частот  $f=1 - 10^7$  Гц и температур  $T=293 - 403$  К (точность 0.5 К), измерительное напряжение, подаваемое на образец, составило 1.0 В) - ЦКП диэлектрической спектроскопии РГПУ им. А.И. Герцена).

### Результаты исследования

Обнаружены дисперсия диэлектрической проницаемости и наличие максимумов потерь, свидетельствующих о существовании релаксационных процессов различной природы (рис.1). Для всех исследуемых систем обнаружена степенная зависимость удельной проводимости от частоты и уменьшение показателя степени с ростом температуры. Изменение величины диэлектрической проницаемости и удельной проводимости при легировании слоев Nafion ионами ( $Tb^{3+}$ ,  $Eu^{3+}$ ).

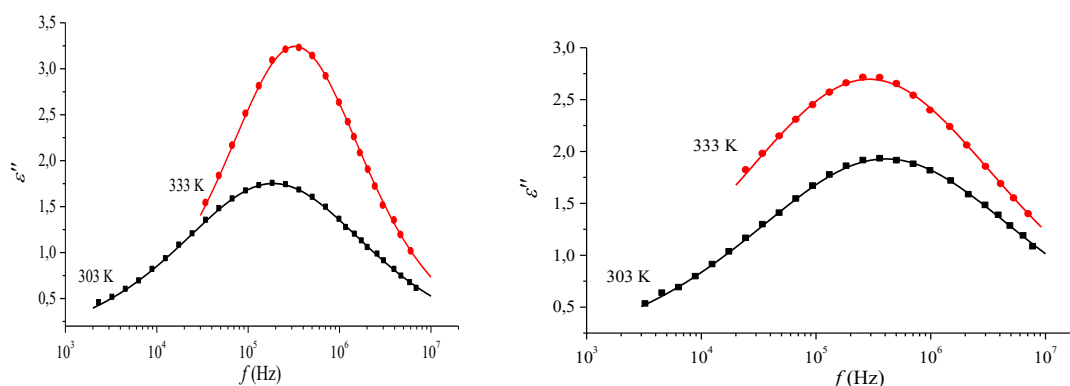


Рис.1 Частотная зависимость фактора потерь слоев Nafion и Nafion + Tb при двух температурах

### Заключение

Для исследованных систем было обнаружено, что чистые мембраны Nafion характеризуются значениями релаксационных параметров, соответствующих симметричному распределению релаксантов по времени релаксации. Допирование мембран ионами ( $Tb^{3+}$ ,  $Eu^{3+}$ ) приводит к асимметричному характеру распределения релаксантов.

Обнаруженная степенная зависимость удельной проводимости от частоты характерна для классического скачкообразного механизма переноса заряда. Показано, что для всех трех систем (мембрана и модифицированные мембраны) перенос заряда является термически активируемым процессом. Введение в мембрану допантов влияет на спектр релаксаторов и характер релаксационных процессов.

**Благодарности.** Исследование выполнено за счёт внутреннего гранта РГПУ им. А. И. Герцена 87-ВГ.

### Список литературы

1. Malyshkina I.A. Dielectric spectra and conduction effects in sulfonated polytetrafluoroethylene (Nafion) in the non-swollen state / I.A. Malyshkina, S.E. Burmistrov // Bulletin of the Moscow University. Physics. Astronomy. – 2006. – 2. – 54-57. ISSN: 0579-9392.
2. Yaroslavl'tsev, A. B., Nikonenko V. V. Ion-exchange membrane materials: Properties, modification, and practical application /A.B. Yaroslavl'tsev, V.V.Nikonenko // Nanotechnologies in Rus. – 2009. – 4. – 3-4. – 137-159. <https://doi.org/10.1134/S199507800903001X>.

## ELECTROPHYSICAL PROPERTIES OF POLYMER SYSTEMS BASED ON PERFLUOROSULFONE MEMBRANES

*N.A. Lapatin*<sup>1</sup>, *E.A. Karulina*<sup>2</sup>, *R.A. Castro*<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,  
18, st. B. Morskaya, St. Petersburg, 191186, Russian Federation

<sup>2</sup>The Herzen State Pedagogical University of Russia Herzen University  
48, Moika River Embankment, St. Petersburg, 191186, Russian Federation

**Absrtact.** Polymer materials based on perfluorosulfone membranes were studied with the introduction of impurities of metals terbium and europium ( $\text{EuCl}_3$  and  $\text{TbCl}_3$ ) by dielectric spectroscopy. The dispersion of the permittivity and the presence of maxima, corresponding to losses, were revealed, which indicates the relaxation processes of various nature existede.

**Keywords:** polymer, perfluorosulfone membranes, dielectric spectroscopy, relaxation, terbium, europium.

Материалы представлены на Международной научно-практической конференции «Современные подходы и практические инициативы в инженерных науках» (г. Казань, 2-3 октября 2025 года).

Статья представлена в редакцию 15 августа 2025 г.