

ISSN (Print) 2616-6836
ISSN (Online) 2663-1296

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің

ХАБАРШЫСЫ

BULLETIN

of L.N. Gumilyov Eurasian
National University

ВЕСТНИК

Евразийского национального
университета имени Л.Н. Гумилева

ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ сериясы

PHYSICS. ASTRONOMY Series

Серия **ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ**

№3(132)/2020

1995 жылдан бастап шығады

Founded in 1995

Издается с 1995 года

Жылына 4 рет шығады

Published 4 times a year

Выходит 4 раза в год

Нұр-Сұлтан, 2020

Nur-Sultan, 2020

Нур-Султан, 2020

Бас редакторы:
ф.-м.ғ.д., профессор, Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ
А.Т. Ақылбеков (Қазақстан)

Бас редактордың орынбасары

Гиниятова Ш.Г. ф.-м.ғ.к., доцент
Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ (Қазақстан)

Редакция алқасы

Арынгазин А.Қ.	ф.-м.ғ. докторы, Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ(Қазақстан)
Алдонгаров А.А.	PhD, Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ (Қазақстан)
Балапанов М.Х.	ф.-м.ғ.д., проф., Башқұрт мемлекеттік университеті (Ресей)
Бахтизин Р.З.	ф.-м.ғ.д., проф., Башқұрт мемлекеттік университеті (Ресей)
Даулетбекова А.Қ.	ф.-м.ғ.к., Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ (Қазақстан)
Ержанов Қ.Қ.	ф.-м.ғ.к., PhD, Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ (Қазақстан)
Жүмаділов Қ.Ш.	PhD, Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ (Қазақстан)
Здоровец М.	ф.-м.ғ.к., Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ(Қазақстан)
Қадыржанов Қ.Қ.	ф.-м.ғ.д., проф., Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ (Қазақстан)
Кайнарбай А.Ж.	ф.-м.ғ.к., Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ (Қазақстан)
Козловский А.Л.	PhD, Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ (Қазақстан)
Кутербеков Қ.А.	ф.-м.ғ.д., проф., Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ (Қазақстан)
Лущик А.Ч.	ф.-м.ғ.д., проф., Тарту университеті (Эстония)
Попов А.И.	ф.-м.ғ.д., проф., Латвия университеті (Латвия)
Морзабаев А.К.	ф.-м.ғ.к., Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ (Қазақстан)
Мырзақұлов Р.Қ.	ф.-м.ғ.д., проф., Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ(Қазақстан)
Нұрахметов Т.Н.	ф.-м.ғ.д., проф., Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ (Қазақстан)
Сауытбеков С.С.	ф.-м.ғ.д., проф., Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ (Қазақстан)
Салиходжа Ж.М.	ф.-м.ғ.к., Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ (Қазақстан)
Скуратов В.А.	ф.-м.ғ.д., проф., Біріккен ядролық зерттеулер институты (Ресей)
Тлеуқенов С.К.	ф.-м.ғ.д., проф., Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ (Қазақстан)
Усеинов А.Б.	PhD, Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ (Қазақстан)
Хоши М.	PhD, проф., Коши университеті (Жапония)
Шункеев Қ.Ш.	ф.-м.ғ.д., проф., Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе мемлекеттік университеті (Қазақстан)

Редакцияның мекенжайы: 010008, Қазақстан, Нұр-Сұлтан қ., Сәтбаев к-сі, 2, 402 б., Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті.
Тел.: +7(7172) 709-500 (ішкі 31-428)
E-mail: vest_phys@enu.kz

Журнал менеджері: Г. Мендыбаева

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің Хабаршысы.
ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ сериясы

Меншіктенуші: "Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті" Коммерциялық емес акционерлік қоғам

Мерзімділігі: жылына 4 рет. Басуға 28.09.2020 ж. қол қойылды. Жазылу индексі: 76093

Қазақстан Республикасының Ақпарат және коммуникациялар министрлігінде 27.03.2018ж.

№16999-ж тіркеу куәлігімен тіркелген.

Ашық қолданудағы электрондық нұсқа: <http://bulphysast.enu.kz/>

Типографияның мекенжайы: 010008, Қазақстан, Нұр-Сұлтан қ., Қажымұқан к-сі, 12/1, 102 б., Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті. Тел.: +7(7172)709-500 (ішкі 31-428)

© Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті

Editor-in-Chief

Doctor of Phys.-Math. Sciences, Professor, ENU
A.T. Akilbekov (Kazakhstan)

Deputy Editor-in-Chief

Giniyatova Sh.G., Candidate of Phys.-Math. Sciences,
Assoc. Prof., ENU (Kazakhstan)

Editorial Board

Aryngazin A.K.	Doctor of Phys.-Math. Sci., ENU (Kazakhstan)
Aldongarov A.A.	PhD, ENU (Kazakhstan)
Balapanov M.Kh.	Doctor of Phys.-Math. Sci., Prof., BashSU (Russia)
Bakhtizin R.Z.	Doctor of Phys.-Math. Sci., Prof., BashSU (Russia)
Dauletbekova A.K.	Candidate of Phys.-Math. Sci., PhD, ENU (Kazakhstan)
Hoshi M.	PhD, Prof., Kyushu University (Japan)
Kadyrghanov K.K.	Doctor of Phys.-Math. Sci., Prof., ENU (Kazakhstan)
Kainarbay A.Zh.	Candidate of Phys.-Math. Sci., ENU (Kazakhstan)
Kozlovskiy A.L.	PhD, ENU (Kazakhstan)
Kuterbekov K.A.	Doctor of Phys.-Math. Sci., Prof., ENU (Kazakhstan)
Lushchik A.	Doctor of Phys.-Math. Sci., Prof., University of Tartu (Estonia)
Morzabayev A.K.	Candidate of Phys.-Math. Sci., ENU (Kazakhstan)
Myrzakulov R.K.	Doctor of Phys.-Math. Sci., Prof., ENU (Kazakhstan)
Nurakhmetov T.N.	Doctor of Phys.-Math. Sci., Prof., ENU (Kazakhstan)
Popov A.I.	Doctor of Phys.-Math. Sci., Prof., University of Latvia (Latvia)
Sautbekov S.S.	Doctor of Phys.-Math. Sci., Prof., KazNU (Kazakhstan)
Salikhodzha Z. M	Candidate of Phys.-Math. Sci., ENU (Kazakhstan)
Skuratov V.A.	Doctor of Phys.-Math. Sci., Prof., Joint Institute for Nuclear Research (Russia)
Tleukenov S.K.	Doctor of Phys.-Math. Sci., Prof., ENU (Kazakhstan)
Useinov A.B.	PhD, ENU (Kazakhstan)
Yerzhanov K.K.	Candidate of Phys.-Math. Sci., PhD, ENU (Kazakhstan)
Zdorovets M.	Candidate of Phys.-Math. Sci., ENU (Kazakhstan)
Zhumadilov K.Sh.	PhD, ENU (Kazakhstan)
Shunkeyev K.Sh.	Doctor of Phys.-Math. Sci., Prof., Zhubanov University (Kazakhstan)

Editorial address: L.N. Gumilyov Eurasian National University, 2, Satpayev str., of. 402,
Nur-Sultan, Kazakhstan 010008
Tel.: +7(7172) 709-500 (ext. 31-428)
E-mail: vest_phys@enu.kz

Managing Editor: G. Mendybayeva

Bulletin of L.N. Gumilyov Eurasian National University.
PHYSICS. ASTRONOMY Series

Owner: Non-profit joint-stock company "L.N. Gumilyov Eurasian National University"

Periodicity: 4 times a year. Signed in print 28.09.2020. Subscription index: 76093

Registered by the Ministry of Information and Communication of the Republic of Kazakhstan.

Registration certificate №16999-ж from 27.03.2018.

Available at: <http://bulphysast.enu.kz/>

Address of printing house: L.N. Gumilyov Eurasian National University, 12/1 Kazhimukan str.,
Nur-Sultan, Kazakhstan 010008;

tel.: +7(7172) 709-500 (ext. 31-428)

Главный редактор:
доктор ф.-м.н., профессор
А.Т. Акилбеков, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)

Зам. главного редактора

Ш.Г. Гиниятова к.ф.-м.н., доцент
ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)

Редакционная коллегия

Арынгазин А.К.	д.ф.-м.н., ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
Алдонгаров А.А.	PhD, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
Балапанов М.Х.	д.ф.-м.н., проф., БашГУ (Россия)
Бахтизин Р.З.	д.ф.-м.н., проф., БашГУ (Россия)
Даулетбекова А.К.	д.ф.-м.н., PhD, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
Ержанов К.К.	к.ф.-м.н., PhD, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
Жумадилов К.Ш.	PhD, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
Здоровец М.	к.ф.-м.н., ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
Кадыржанов К.К.	д.ф.-м.н., проф., ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
Кайнарбай А.Ж.	к.ф.-м.н., ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
Козловский А.Л.	PhD, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
Кутербекоев К.А.	д.ф.-м.н., проф., ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
Лущик А.Ч.	д.ф.-м.н., проф., Тартуский университет (Эстония)
Морзабаев А.К.	д.ф.-м.н., ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
Мырзакулов Р.К.	д.ф.-м.н., проф., ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
Нурахметов Т.Н.	д.ф.-м.н., проф., ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
Попов А.И.	д.ф.-м.н., проф., Латвийский университет (Латвия)
Сауытбеков С.С.	д.ф.-м.н., проф., КазНУ им. аль-Фараби (Казахстан)
Салиходжа Ж.М.	к.ф.-м.н., ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
Скуратов В.А.	д.ф.-м.н., проф., Объединенный институт ядерных исследований (Россия)
Тлеукиенов С.К.	д.ф.-м.н., проф., ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
Усеинов А.Б.	PhD, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
Хоши М.	PhD, проф., Коши университет (Япония)
Шункеев К.Ш.	д.ф.-м.н., проф., АРГУ имени К. Жубанова (Казахстан)

Адрес редакции: 010008, Казахстан, г. Нур-Султан, ул. Сатпаева, 2, каб. 402, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева.

Тел.: (7172) 709-500 (вн. 31-428)

E-mail: vest_phys@enu.kz

Менеджер журнала: Г. Мендыбаева

Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева.

Серия ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ

Собственник Некоммерческое акционерное общество "Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева"

Периодичность: 4 раза в год. Подписано в печать 28.09.2020 г. Подписной индекс: 76093

Зарегистрирован Министерством информации и коммуникаций Республики Казахстан.

Регистрационное свидетельство №16999-ж от 27.03.2018г.

Электронная версия в открытом доступе: <http://bulphysast.enu.kz/>

Адрес типографии: 010008, Казахстан, г. Нур-Султан, ул. Кажимукана, 12/1, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева. тел.: +7(7172)709-500 (вн. 31-428)

Л.Н. ГУМИЛЕВ АТЫНДАҒЫ ЕУРАЗИЯ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ
ХАБАРШЫСЫ. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ сериясы

№3(132)/2020

МАЗМҰНЫ

<i>Жасыбаева М.Б., Есмаханова К.Р.</i> Дарбу түрлендіруі және Фокас-Ленэллс теңдеуінің нақты бір солитонды шешімі	8
<i>Горлачев И., Глуценко Н., Иванов И., Киреев А., Курахмедов А., Платов А., Самбаев У., Здоровец М.</i> Нысаналы атомдарды ауыр иондармен қоздыруға арналған РІХЕ әдісінің шектері	14
<i>Ергалиев Д.С., Әбдірашев Ө.К., Жумабаева А.С.</i> Робототехникалық құрылғылар кешенін ақпараттық-метрологиялық қамтамасыз ету	25
<i>Қаптағай Г., Сандибаева Н., Байжадамова Л., Утебаева А.</i> Сутегін өндірудегі кобальт шпинелінің энергетикалық сипаттамаларын жақсартудағы азоттың рөлі	30
<i>Әбуова А.Ү., Инербаев Т.М., Әбуова Ф.Ү., Сазанбай А., Нураканов А.</i> Төмен өлшемді допирленген термоэлектрикте зарядтау динамикасы	36
<i>Ногай А.А., Стефанович С.Ю., Салиходжа Ж.М., Ногай А.С.</i> Қатты ерітінділеріндегі иондық өткізгіштік және фазалық ауысулар $\text{Na}_3\text{Sc}_{2(1-x)}\text{Yb}_{2x}(\text{PO}_4)_3$	44
<i>Ногай А.С., Ускенбаев Д.Е.</i> Платинасыз катализаторлары бар NaFon мембраналарында поляризациялық және өткізгіш қасиеттері	51
<i>Бимуханов А.Н., Алдонгаров А.А.</i> $\text{Si}(\text{bzimpy})_2$ бейтарап гексакоординация кешенінің дұрыс геометриялық параметрлерін болжау үшін функционалдық үйлесімділік пен тығыздықтың функционалды теориясының негіз жиынтықтарын сынау	59
<i>Базарбек А.Б., Сағатов Н.Е., Инербаев Т.М., Ажилбеков А.Т.</i> Жоғары қысымда никель фосфидтерінің тұрақтылығын алғашқы принципті есептеу	67
<i>Карипбаев Ж.Т., Мусаханов Д.А., Лисицын В.М., Алпысова Г.К., Куженова А., Усеинов А.Б., Абдрахметова А.А., Байжуманов М.Ж.</i> Радиация өрісінде синтезделген YAG:Ce негізіндегі люминофорлардың импульстік фотолюминесценциясы	74

BULLETIN OF L.N. GUMILYOV EURASIAN NATIONAL UNIVERSITY. PHYSICS.
ASTRONOMY SERIES

№3(132)/2020

CONTENTS

<i>Zhassybayeva M.B., Yesmakhanova K.R.</i> Darboux transformation and exact one-soliton solution of the Fokas-Lenells equation	8
<i>Gorlachev I., Gluchshenko N., Ivanov I., Kireev A., Kurakhmedov A., Platov A., Sambayev Ye., Zdorovets M.V.</i> The limits of the PIXE method for excitation of target atoms by heavy ions	14
<i>Yergaliyev D.S., Abdirashev O.K., Zhumabaeva A.S.</i> Information and metrological support for the complex of robotic devices	25
<i>Kaptagay G., Sandibaeva N., Baikadamova L., Utebaeva A.</i> Role of nitrogen for enhancement energetically characteristics in producing hydrogen	30
<i>Abuova A.U., Inerbaev T.M., Abuova F.U., Sazanbay A., Nurakanov A.</i> Charging dynamics in a low-dimensional doped thermoelectric	36
<i>Nogai A.A., Stefanovich S.Yu., Salikhodja J.M., Nogai A.S.</i> Ionic conductivity and phase transitions in solid solutions $\text{Na}_3\text{Sc}_{2(1-x)}\text{Yb}_{2x}(\text{PO}_4)_3$	44
<i>Nogai A.S., Uskenbayev D.E.</i> Polarizing and conductive properties in Nafion membranes with platinum-free catalysts	51
<i>Bimukhanov A.N., Aldongarov A.A.</i> Testing of combinations of Density Functional Theory functionals and basis sets for predicting correct geometrical parameters of neutral hexacoordinated $\text{Si}(\text{bzimpy})_2$ complex	59
<i>Bazarbek A.B., Sagatov N.E., Inerbaev T.M., Akilbekov A.T.</i> First principle calculations of the stability of nickel phosphides at high pressures	67
<i>Karipbaev Zh., Musahanov D., Lisitsyn V., Alpyssova G., Kukenova A., Usseinov A., Abdrahmetova A., Baizhumanov M.</i> Pulsed photoluminescence of YAG: Ce phosphors synthesized in the radiation field	74

ВЕСТНИК ЕВРАЗИЙСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА
ИМЕНИ Л.Н.ГУМИЛЕВА. Серия ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ

№3(132)/2020

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Жасыбаева М.Б., Есмаханова К.Р.</i> Преобразование Дарбу и точное односолитонное решение уравнения Фокаса-Ленэллса	8
<i>Горлачев И., Глуценко Н., Иванов И., Киреев А., Курахмедов А., Платов А., Самбаев Е., Здоровец М.</i> Пределы определения РИХЕ метода при возбуждении атомов мишени тяжелыми ионами	14
<i>Ергалиев Д.С., Абдирашев О.К., Жумабаева А.С.</i> Информационно-метрологическое обеспечение комплекса робототехнических устройств	25
<i>Каптагай Г., Сандибаева Н., Байкадамова Л., Утебаева А.</i> Роль азота в совершенствовании энергетических характеристик шпинели кобальта для производства водорода	30
<i>Абуова А.У., Инербаев Т.М., Абуова Ф.У., Сазанбай А., Нураканов А.</i> Зарядовая динамика в низкоразмерном допированном термоэлектрике	36
<i>Ногай А.А., Стефанович С.Ю., Салиходжа Ж.М., Ногай А.С.</i> Ионная проводимость и фазовые переходы в твердых растворах $\text{Na}_3\text{Sc}_{2(1-x)}\text{Yb}_{2x}(\text{PO}_4)_3$	44
<i>Ногай А.С., Ускенбаев Д.Е.</i> Поляризационные и проводящие свойства в мембранах типа NaFоп с безплатиновыми катализаторами	51
<i>Бимуханов А.Н., Алдонгаров А.А.</i> Тестирование комбинаций функционалов и базисных наборов теории функционала плотности для предсказания правильных геометрических параметров нейтрального гексакоординационного комплекса $\text{Si}(\text{bzimpy})_2$	59
<i>Базарбек А.Б., Сагатов Н.Е., Инербаев Т.М., Акилбеков А.Т.</i> Первопринципные расчеты стабильности фосфидов никеля при высоких давлениях	67
<i>Карипбаев Ж.Т., Мусаханов Д.А., Лисицын В.М., Алтысова Г.К., Куженова А., Усеинов А.Б., Абдрахметова А.А., Байжуманов М.Ж.</i> Импульсная фотолуминесценция синтезированных в поле радиации люминофоров на основе YAG:Ce	74

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің хабаршысы. Физика. Астрономия сериясы, 2020, том 132, №3, 51-58 беттер
<http://bulphysast.enu.kz>, E-mail: vest_phys@enu.kz

МРНТИ: 44.31.39

А.С. Ногай, Д.Е. Ускенбаев

Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, Нур-Султан, Казахстан
(E-mail: nogay06@mail.ru, usdan@mail.ru)

Поляризационные и проводящие свойства в мембранах типа Nafion с безплатиновыми катализаторами¹

Аннотация: в данной статье изучены диэлектрические и проводящие свойства полимерной мембраны Nafion с катализаторами CoTe/C в составе мембранно-электронного блока. Уточнены вопросы, касающиеся взаимосвязи структуры, диэлектрических и проводящих свойств в мембранах типа Nafion. Оценено влияние катализатора CoTe/C на релаксационные процессы поляризации и проводимости в данной полимерной мембране. Установлен оптимальный режим работы мембранах типа Nafion в составе катализатора CoTe/C для повышения эффективности работы этой системы.

Ключевые слова: мембрана Nafion, топливные элементы, релаксационный процесс, диэлектрическая проницаемость, тангенс угла диэлектрических потерь, катализатор.

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-6836-2020-132-3-51-58>

Поступила: 24.08.2020/ Допущена к опубликованию: 21.09.2020

Введение. Топливные элементы (ТЭ) привлекают все большее внимание, т.к. могут быть альтернативой аккумуляторам и являются более экологичными. Основной частью полимерных ТЭ является твердые полимерные электролиты (ТПЭ), которые должны обеспечить высокую ионную проводимость, так как именно от этого показателя зависит эффективность работы ТЭ [1]. Несмотря на привлекательность твердо-полимерных топливных элементов (ТПТЭ) они не нашли массового применения в силу недостаточно высокой экономической конкурентоспособности. Большую часть себестоимости ТПТЭ составляют электродные материалы и катализаторы. Поэтому для замены платинового катализатора нами были разработаны металл-халькогенидные катализаторы типа CoTe/C [2].

С целью оценки эффективности работы этих катализаторов в составе мембранно-электродного блока (МЭБ) необходимо изучить влияние данного катализатора на поляризационные и проводящие свойства ТПЭ на основе сульфированного политетрафторэтилена (Nafion).

Проводящие свойства Nafion изучены в работе [3], а их диэлектрические свойства в работе [4]. Однако влияние катализатора CoTe/C на диэлектрические и проводящие свойства мембран типа Nafion изучены недостаточно. Лишь в работе [5] были частично изучены частотные диэлектрические характеристики указанных образцов в узком температурном интервале. В связи с этим изучение диэлектрических и проводящих свойств мембран Nafion является актуальным.

Целью работы является исследование поляризационных и проводящих процессов в ТПЭ типа Nafion, входящего в состав МЭБ с катализатором CoTe/C для установления оптимального режима работы ТЭ.

2. Методика эксперимента. Получение МЭБ на основе мембран Nafion с катализаторами CoTe/C было осуществлено по традиционной технологии [2].

Катализатор CoTe/C получен на основе металл-халькогенидных кластеров, в которых атомы металла и халькогенов непосредственно связаны друг с другом, присутствуют в строгом

¹Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Республики Казахстан в рамках научно-технической программы BR05236795 "Развитие технологии водородной энергетики в Республике Казахстан"

стехиометрическом соотношении и окружены органическими группировками. Технология получения катализатора CoTe/C приведена в работе [2].

Основной интерес к Nafion связан с тем, что он используется в низкотемпературных водородных топливных элементах [1]. Эти ТЭ привлекают все большее внимание, т.к. более экономичны, чем высокотемпературные ТЭ.

Обычно работа МЭБ проходит во влажном состоянии, поэтому перед проведением экспериментов исследуемые образцы выдерживались в камере влажности в течении нескольких часов

Разработанная нами камера влажности представляла собой герметичную емкость с дверцей, подогревателем и точным датчиком и регулятором температуры. Для выполнения этой функции использовался микропроцессорный терморегулятор.

Определение диэлектрических и проводящих свойств проведено на твердополимерной мембране Nafion с катализаторами CoTe/C в составе МЭБ методом импедансной спектроскопии с помощью прибора R, L, C метра. Измерения проведены в интервале температур 295 – 375 К и в диапазоне частот 5 – 10⁴ Hz.

3. Результаты и обсуждения. Диэлектрические свойства ТПЭ Nafion описывается комплексной диэлектрической проницаемостью $\varepsilon = \varepsilon' + j \varepsilon''$, которая связана с импедансом образца Z' следующей формулой:

$$\varepsilon'(\omega) = \frac{-j}{\omega Z'(\omega) C_0} \quad (1)$$

где ω – угловая частота, C_0 – емкость держателя образца. На рис. 1 представлены результаты исследования температурной зависимости диэлектрической проницаемости $\varepsilon(T)$ и тангенса угла диэлектрических потерь $\tan \delta(T)$ мембран Nafion, входящих в состав МЭБ с катализаторами CoTe/C.

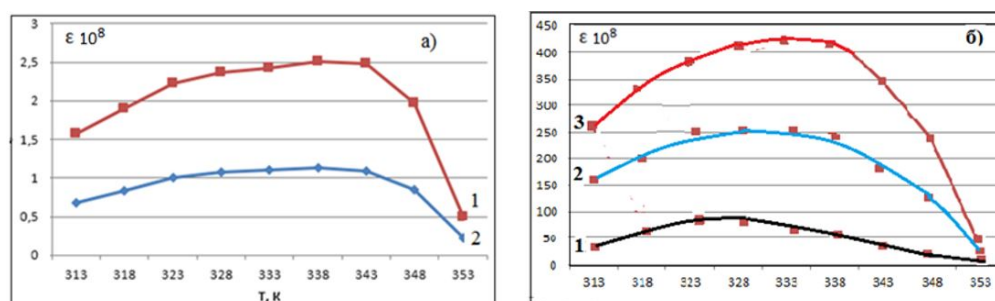
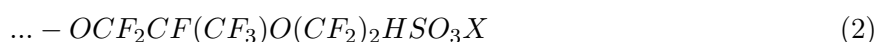


Рисунок 1 – Температурные зависимости диэлектрической проницаемости $\varepsilon(T)$ для мембран Nafion с катализаторами CoTe/C на частотах: а) 1 – 20 Гц и 2– 100 Гц; б) 1 – 500 Гц, 2– 5 кГц и 3 – 10 кГц

Исследование температурной зависимости диэлектрической проницаемости образцов в области низких частот (см. рис. 1) позволяет обнаружить монотонный рост кривых 1 и 2 на зависимости $\varepsilon(T)$ до температуры 343 К, затем наблюдается снижение этих кривых. Повышение поляризуемости частиц в полимерной пленке может быть связано с наличием воды. Рост диэлектрической проницаемости на зависимости $\varepsilon(T)$, вероятно, связан с увеличением подвижности заряженных частиц, в качестве которых могут быть группы (SO_3^-) – вода. Согласно [2, 5, 6] фрагмент Nafiona - перфторированный полимера, содержащий малое количество сульфонатных функциональных групп частично описывается формулой (2):



где $X = SO_3F; SO_3H; SO_3N$ или SO_3K , При температурах $T=343$ К диэлектрическая проницаемость стремится к нулю особенно при низких частотах (см. кривую 1 на рис. 1 а). По всей вероятности, до температуры 343 К процессы поляризации частиц в

мембране преобладают над процессом разупорядочения. Дальнейший нагрев приводит к росту подвижности частиц и диэлектрическая проницаемость уменьшается.

Согласно температурным зависимостям диэлектрической проницаемости $\varepsilon(T)$, представленных на рис.1 б) характер изменения кривых на зависимости $\varepsilon(T)$ сохраняется с повышением частоты. Однако наибольших значений диэлектрической проницаемости достигает при частоте 10 кГц и температуре $T=335$ К.

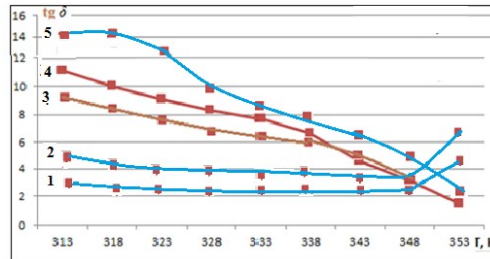


Рисунок 2 – Температурные зависимости тангенса угла диэлектрических потерь $\text{tg } \delta(T)$ для мембран Nafion с катализаторами CoTe/C на частотах: 1 – 20 ГГц; 2 – 100 ГГц; 3 – 500 ГГц; 4 – 5 кГц; 5 – 10 кГц

На рис. 2 представлены результаты исследования температурной зависимости тангенса угла диэлектрических потерь мембран Nafion, входящих в состав МЭБ с катализаторами CoTe/C на различных частотах. Исследование температурной зависимости тангенса угла диэлектрических потерь ($\text{tg } \delta(T)$) в области низких температур и частот показывает, что взаимодействие электрического поля с образцом весьма слабое (см. рис. 2). Низкотемпературная область образца в интервале частот 20 – 100 ГГц характеризуется незначительными потерями энергии. Однако эти потери увеличиваются при температурах выше 350 К, когда термоактивационные процессы повышают подвижность слабо связанных частиц в структуре мембран Nafion под действием приложенного электрического поля. Не исключено, что аномальное изменение кривых на зависимостях $\varepsilon(T)$ и ($\text{tg } \delta(T)$) могут быть связаны с фазовыми переходами из β - в γ - фазу согласно [8].

Лишь при повышении частоты измерительного поля свыше 500 – 1000 ГГц потери энергии образцов становятся заметными (см. рис.2), однако с повышением температуры наблюдается монотонный спад тангенса угла диэлектрических потерь. Такой же ход кривых наблюдается на зависимости ($\text{tg } \delta(T)$) вплоть до 10 кГц (см. кривую 5 на рис. 2). Однако появление релаксационного максимума на зависимости ($\text{tg } \delta(T)$) при частоте 10 кГц можно объяснить тем, что частота колебаний релаксирующих частиц в полимерной мембране Nafion совпадает с частотой приложенного электрического поля к образцу (см. кривую 5 на рис.2). При более высоких частотах приложенного электрического поля наблюдается постепенное исчезновение релаксационного максимума. Такой отклик от образца свидетельствует о том, что в полимерной мембране медленные процессы релаксации не успевают за быстрыми колебаниями приложенного внешнего поля.

На рис. 3 представлены результаты исследования частотной зависимости: а) диэлектрической проницаемости $\varepsilon(\omega)$ и б) тангенса угла диэлектрических потерь $\text{tg } \delta(\omega)$ для мембран Nafion, входящих в состав МЭБ с катализаторами CoTe/C при разных температурах.

Снижение диэлектрической проницаемости на зависимости $\varepsilon(T)$ характеризует, что заряженные частицы в полимерной матрице в основном поляризуются при низких частотах, а с повышением частоты эти процессы экспоненциально снижаются. Причем при температурах выше 313 К область поляризационных процессов сдвигается в область все более низких частот(см. рис.3 а).

На рис. 3 б) приведены температурные зависимости тангенса угла диэлектрических потерь $\text{tg } \delta(\omega)$ для мембран Nafion при различных температурах. Возрастание тангенса угла диэлектрических потерь на зависимости $\text{tg } \delta(\omega)$ к высоким частотам также является

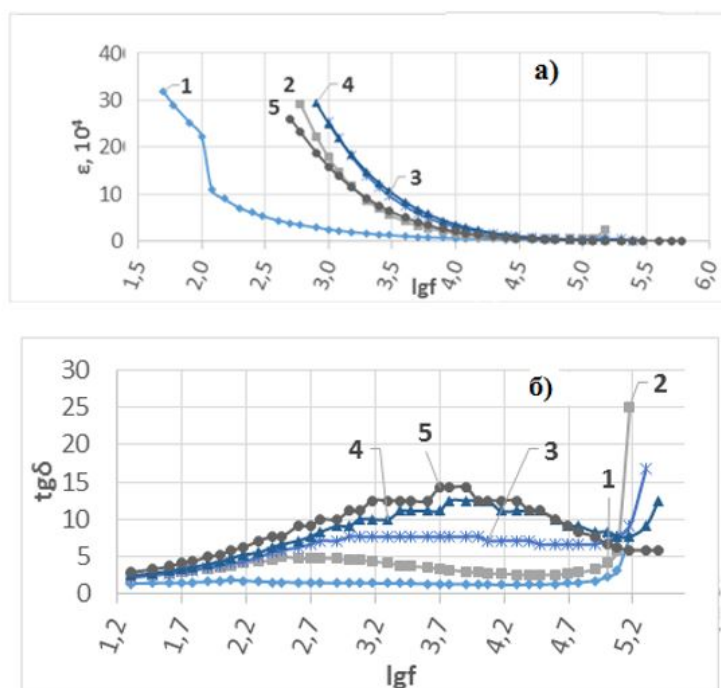


Рисунок 3 – Частотные зависимости а) диэлектрической проницаемости $\epsilon(\omega)$ при температурах: 1 – 353 К и 2– 343; 3 – 333 К, 4– 323 К и 5 – 313 К; б) тангенса угла диэлектрических потерь $\text{tg } \delta(\omega)$ для мембран Nafion с катализаторами CoTe/C при температурах: 1 – 353 К и 2– 343; 3 – 333 К, 4– 323 К и 5 – 313 К

результатом влияния эффектов проводимости, вклад которых в диэлектрические потери описывается выражением (3) [9]:

$$\sigma = \epsilon'' \epsilon_0 \omega \quad (3)$$

где ϵ'' – мнимая часть диэлектрической проницаемости; $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12}$ Ф/м диэлектрическая проницаемость вакуума; $\omega = 2\pi f$ – круговая частота.

Согласно рис. 3 (б) при низких температурах (см. кривые 4,5) наблюдаются медленные тепловые релаксационные процессы поляризации Дебаевского типа, которые могут быть описаны в виде [10]:

$$\text{tg } \delta = \frac{\sigma}{\omega} + \frac{(\epsilon_0 - \epsilon_\infty)}{\epsilon_0 + \epsilon_\infty \omega^2 \tau^2} \quad (4)$$

где: τ – время релаксации диполя в диэлектрике под воздействием внешнего поля; ϵ_0 и ϵ_∞ – статическая и оптическая диэлектрические проницаемости соответственно; σ – ионная проводимость.

Наблюдаемый релаксационный процесс может быть связан с дипольной релаксацией заряженных частиц группы (SO_3^-) – вода или поляризованной воды, локализованной в “кластерах” полимерной матрицы и отражает возможность транспорта протонов внутри кластеров. Данная релаксация проявляется на спектрах тангенса угла диэлектрических потерь $\text{tg } \delta(T)$ в виде максимума, которая расположена в диапазоне 8 – 9 кГц (см. рис. 3 б). Значит частота колебаний релаксирующих частиц лежит именно в этом частотном диапазоне. Однако с повышением частоты релаксационные процессы поляризации замедляются, и только при более высоких частотах начинается процесс повышения потерь энергии.

Как видим, вода оказывает большое влияние на свойства ТПЭ. В мембране Nafion проводящими включениями являются кластеры воды. Тогда частотную зависимость проводимости, определяемой как отношение плотности тока j к электрическому полю E , можно описать формулой (5) [3]:

$$\sigma = \frac{j}{E} = \frac{f\rho_v D_p q_m}{E} \sim \omega D_p \quad (5)$$

где D_p — средняя амплитуда смещения протонов внутри кластера, ρ_v — объемная концентрация кластеров, q_m — мобильный заряд кластера, т. е. суммарный заряд частиц одного кластера, которые могут перемещаться под действием электрического поля.

Из формулы (5) следует, что если количество мобильного заряда q_m и концентрация кластеров ρ_v не зависят от частоты, то проводимость пропорциональна произведению ωD_p .

Для оценки частотой зависимости проводимости мембраны на рис. 4 а приведены зависимости $\sigma(\omega)$ для двух значений температуры. Прямые линии на зависимости $\sigma(\omega)$ (см. рис. 4 а) указывает на существование следующей степенной зависимости $\sigma(\omega) \sim \omega^k$.

На рис. 4 б показаны температурные зависимости проводимости для двух частот $\omega = 10^2$ и 10^3 Гц.

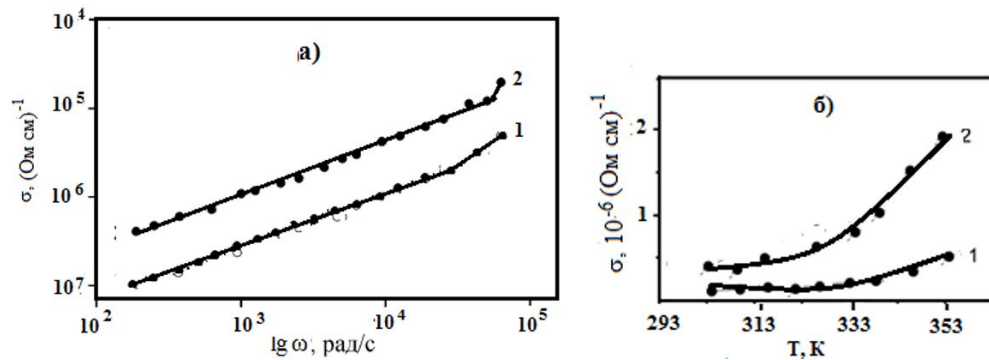


Рисунок 4 – Зависимости а) проводимости от круговой частоты $\sigma(\lg \omega)$ при температурах 316 К – (кривая 1) и $T=353$ К – (кривая 2); б) проводимости от температуры $\sigma(T)$ при частотах $\omega=10^2$ – (кривая 1) и $\omega=10^3$ – (кривая 2) для мембран Nafion с катализаторами CoTe/C при температурах

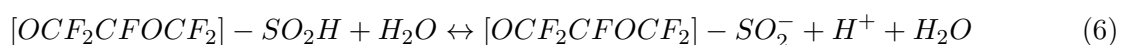
Из рис. 4 б видно, что именно вблизи температуры 333 К начинается сильный рост проводимости. Таким образом, при этой температуре наблюдается не только изменение характера транспорта протонов, но и величины проводимости, что может свидетельствовать о каком-то изменении структуры мембраны. Возможно, происходит изменение структуры связанной воды в полимерном кластере.

В таких образцах ионные группы стремятся агрегировать, формируя плотно упакованные области – “кластеры” под действием электростатических взаимодействий [6]. В набухших мембранах вода обычно локализуется в “кластерах”, включенных в полимерную матрицу, а ионные группы в основном расположены на границе полимер-вода.

По данным работы [6] вода в контакте с Nafionом проявляет ярко выраженные кислотные свойства.

Также в [11] были обнаружены релаксационные процессы в набухших перфторированных мембранах β -типа подверженные влиянию адсорбированной влаги. Было установлено, что дипольная β -релаксация обусловлена вращением комплексов групп (SO_3^-) – вода на концах боковых цепей мономера. Поэтому воду в данном случае следует рассматривать как поляризованную часть комплекса $[(SO_3^-) - \text{вода}]$, которая будет создавать условия для создания протонов H^+ , способны релаксировать под действием внешнего переменного электрического поля.

По мнению авторов [12], во влажной среде в мембране Nafion возможно установление следующих реакций:



Поскольку протоны H^+ , в данном случае являются составными компонентами релаксатора, то понятно, что в диэлектрический отклик вносят вклад вращательная диффузия молекулярных диполей (дипольная релаксация), а также распространение подвижных носителей заряда (электронная, ионная проводимости). Легкость и мобильность протонов H^+ позволяют нам в экспериментах наблюдать релаксационные процессы в полимерной мембране Nafion при относительно низкой температуре.

Сравнительный анализ данных экспериментальных результатов с результатами литературных данных по исследованию влияния платинового катализатора на полимер Nafion позволяет установить, что влияние катализатора CoTe/C на релаксационные процессы поляризации в полимерной мембране Nafion удовлетворительное, но менее выраженное, чем в случае Pt/C. По всей вероятности, кобальт входящий в состав катализатора CoTe/C по электрохимической активности, значительно слабее платины, из которого создают катализатор Pt/C.

Данные экспериментов позволяют заключить, что оптимальным условием работы МЭБ в составе набухших мембран Nafion с катализатором CoTe/C является интервал температур 333 – 338 К. Представленные результаты показывают, что именно в этом температурном интервале можно достичь наиболее высокой проводимости в мембране Nafion с катализатором CoTe/C.

Заключение. На основе представленных экспериментальных результатов можно сделать следующие выводы:

В экспериментах по исследованию диэлектрических свойств мембран Nafion во влажной среде наблюдается низкочастотная тепловая релаксационная поляризация Дебаевского типа. Причем частота колебаний релаксирующих частиц составляет 6-8 кГц.

Низкочастотную релаксацию, установленную на частоте 5 кГц для мембран Nafion, можно связать с межкластерными прыжками протонов.

Установлено, что существенный вклад в диэлектрический спектр вносят эффекты, связанные с проводимостью. Экспериментальные данные хорошо объясняются моделью, согласно которой в ненабухших мембранах Nafion вода находится в виде проводящих включений или кластеров. Вероятно, движения протонов носят диффузионный характер при температурах около 333 К. Исследования спектров проводимости показали, что при температурах выше 333 К протоны приобретают возможность транспорта на дальние расстояния.

Влияние катализатора: CoTe/C на релаксационные процессы поляризации и проводимости в полимерной мембране Nafion удовлетворительное, но менее выражена, чем в случае Pt/C. Сделан вывод, что для повышения эффективности работы МЭБ в составе набухших мембран Nafion с катализатором CoTe/C необходимо работать в интервале температур 333 – 338 К.

Список литературы

- 1 Heitner-Wirguin C. Recent advances in perfluorinated ionomer membranes: Structure, properties and applications // Journal of Membrane Science - 1996 - V. 120. - № 1. - P. 1-33.
- 2 Grinberg V.A., Majorova N.A., Pasynskij A.A., Modestov A.D., SHiryaev A.A., Vysockij V.V., Nogai A.S. Nanotrukturnye besplatynovyе katalizatory vosstanovleniya kisloroda na osnove metallhal'kogenidnyh klasterov kobal'ta // Koordinacionnaya himiya – 2018. - Т. 44. - № 5. - P. 287-294.
- 3 Малышкина И.А., Бурмистров С.Е. Диэлектрические спектры и эффекты проводимости в сульфированном политетрафторэтилене (Nafion) в ненабухшем состоянии // Вестник МГУ Сер. 3. Физика и Астрономия – 2006. - № 2. - С. 54-57.
- 4 Малышкина И.А., Бурмистров С.Е. Гаврилова Н.Д. Диэлектрические спектры и эффекты проводимости в сульфированном политетрафторэтилене (Nafion) в набухшем состоянии // Вестник МГУ. Сер. Б. Физика и Астрономия – 2005. - Т. 47. - № 8. - С. 1563 -1568.
- 5 Ногай А.С., Кутербекоев К.А., Ускенбаев Д.Е., Бекмырза К.Ж., Ногай А.А., Кабышев А.М. Особенности тепловой релаксационной поляризации в мембранах типа Nafion с безплатиновыми катализаторами // Вестник ЕНУ. Сер. Физика и Астрономия –2019. - № 129. - С. 80-85.
- 6 Moore R.B., Martin C.R. Morphology and chemical properties of the Dowper fluorosulfonate ionomers // Macromolecules - 1989. - V.22. - № 9. - P.3594-3599.

- 7 Иванчев С.С., Мякин С.В. Полимерные мембраны для топливных элементов: получение, структура, модифицирование и свойства // Успехи химии – 2010. - № 79. - С. 117–134
- 8 Yoo H., Baker D.R., Pirie C.M., Hovakeemian B., Pollack G.H. Characteristics of water adjacent to hydrophilic interfaces, Ch. 7, In: Water: The Forgotten Biological Molecule. - Pan Stanford Publishing Pte. Ltd, 2011.
- 9 Mauritz K.A., Fu R.-M. Dielectric relaxation studies of ion motions in electrolyte-containing perfluorosulfonate ionomers. 1. Sodium hydroxide and sodium chloride systems // Macromolecules – 1988. - V. 21. - № 5. - P. 1324–1333.
- 10 Плотников В.П. Физика полупроводников и диэлектриков. - Изд. ТГТУ, 2014. - 80 с.
- 11 Yeo S.C., Eisenberg A. Physical properties and supermolecular structure of perfluorinated ion-conducting (Nafion) polymers // J. Appl. Poly. Sci. - 1977. - V. 21. - № 4. - P. 875-898.
- 12 Kreuer K.D. On the development of proton conducting polymer membranes for hydrogen and methanol fuel cells // J. Membr. Sci., - 2001.- V.185. - № 1. - P.29-39.

А.С. Ногай, Д.Е. Ускенбаев

С. Сейфуллин атындағы қазақ агротехникалық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

Платинасыз катализаторлары бар Nafion мембраналарында поляризациялық және өткізгіш қасиеттері

Аннотация. Бұл мақалада электронды блоктың құрамына кіретін CoTe/C катализаторлары бар Nafion полимерлі мембранасының диэлектрлік және өткізгіш қасиеттері қарастырылған. Nafion типіндегі мембраналардағы құрылым, диэлектрлік және өткізгіш қасиеттердің өзара байланысы туралы сұрақтар нақтыланды. Берілген полимерлі мембранадағы поляризация мен өткізгіштіктің релаксациялық процестеріне катализатордың CoTe/C әсері бағаланады. Катализатор құрамындағы Nafion типті мембрананың оңтайлы режимі CoTe/C осы жағдайның тиімділігін арттыру үшін құрылды.

Түйін сөздер: Nafion мембранасы, отын элементтері, релаксациялық процесс, диэлектрлік өткізгіштік, диэлектрлік шығындар бұрышының тангенсі, катализатор.

A.S. Nogai, D.E. Uskenbayev

S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University, Nur-Sultan, Kazakhstan

Polarizing and conductive properties in Nafion membranes with platinum-free catalysts

Abstract. This article examines the dielectric and conductive properties of the Nafion polymer membrane with CoTe/C catalysts as part of a membrane-electronic unit. The questions concerning the relationship of structure, dielectric and conductive properties in membranes of the Nafion type have been clarified. The effect of the CoTe/C catalyst on the relaxation processes of polarization and conductivity in a given polymer membrane is estimated. The optimal operating mode for Nafion-type membranes in the composition of the catalyst CoTe/C was established to increase the efficiency of this system.

Keywords: Nafion membrane, fuel cells, relaxation process, dielectric permeability, dielectric loss tangent, catalyst.

References

- 1 Heitner-Wirguin C. Recent advances in perfluorinated ionomer membranes: Structure, properties and applications, Journal of Membrane Science, 1(120), 1-33 (1996).
- 2 Grinberg V.A., Majorova N.A., Pasynskij A.A., Modestov A.D., SHiryayev A.A., Vysockij V.V., Nogai A.S. Nanostrukturnye besplatynovye katalizatory vosstanovleniya kisloroda na osnove metallhal'kogenidnyh klasterov kopal'ta, Koordinacionnaya himiya, 5(44), 287-294 (2018).
- 3 Malyshkina I.A., Burmistrov S.E. Dielektricheskie spektry i efekty provodimosti v sul'firovannom politetraftoretilene (Nafion) v nenabuhshem sostoyanii, Vestnik MGU. Ser. 3. Fizika i Astronomiya, 2, 54-57 (2006).
- 4 Malyshkina I.A., Burmistrov S.E., Gavrilova N.D. Dielektricheskaya spektroskopiya sul'firovannogo politetraftoretilena v nabuhshem sostoyanii, Vysokomolek. soed., ser., 8(47), 1563-1568 (2005).
- 5 Nogai A.S., Kuterbekov K.A., Uskenbaev D.E., Bekmyrza K.Zh. . Nogai A.A., Kabyshev A.M. Features of thermal relaxation polarization in Nafion-type membranes with platinum-free catalysts, ENU Bulletin. Ser. Physics and Astronomy, 129, 80 - 85 (2019).
- 6 Moore R.B., Martin C.R. Morphology and chemical properties of the Dowper fluorosulfonate ionomers, Macromolecules, 9 (22), 3594-3599 (1989).
- 7 Ivanchev S.S., Myakin S.V. Polymer membranes for fuel cells: preparation, structure, modification and properties, The successes of chemistry, 79, 117–134 (2010).
- 8 Yoo H., Baker D.R., Pirie C.M., Hovakeemian B., Pollack G.H. Characteristics of water adjacent to hydrophilic interfaces, Ch. 7, In: Water: The Forgotten Biological Molecule (Pan Stanford Publishing Pte. Ltd, 2011).
- 9 Mauritz K.A., Fu R.-M. Dielectric relaxation studies of ion motions in electrolyte-containing perfluorosulfonate ionomers. 1. Sodium hydroxide and sodium chloride systems, Macromolecules, 5 (21), 1324–1333 (1988).
- 10 Plotnikov V.P. Fizika poluprovodnikov i dielektrikov [Physics of semiconductors and dielectrics] (Izd. TGTU, 2014, 80 p.).

- 11 Yeo S.C., Eisenberg A. Physical properties and supermolecular structure of perfluorinated ion-conducting (Nafion) polymers, J. Appl. Poly. Sci, 4 (21), 875-898 (1977).
- 12 Kreuer K.D. On the development of proton conducting polymer membranes for hydrogen and methanol fuel cells, J. Membr. Sci, 1(185), 29-39 (2001).

Сведения об авторах:

Nogai A.S. – **основной автор**, д.ф.-м.н., профессор кафедры радиотехники, электроники и телекоммуникации, Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, Нур-Султан, Казахстан.

Uskenbayev D.E. – к.ф.-м.н., доцент кафедры радиотехники, электроники и телекоммуникации, Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, Нур-Султан, Казахстан.

Nogai A.S. - **main author**, Doctor of Physics and Mathematics, Professor of the Department of Radio Engineering, Electronics and Telecommunications, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University, Nur-Sultan, Kazakhstan.

Uskenbayev D.E. - Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University, Nur-Sultan, Kazakhstan.