

**Раскулова Татьяна Валентиновна,**

д.х.н., доцент, Ангарский государственный технический университет,  
e-mail: raskulova@list.ru

**Лебедева Оксана Викторовна,**

к.х.н., доцент, Иркутский национальный исследовательский технический университет,  
e-mail: lebedeva@istu.edu

**Биль Елена Романовна,**

обучающаяся, Ангарский государственный технический университет,  
e-mail: elenabil@yandex.ru

**Вахитов Артем Рустемович,**

обучающийся, Ангарский государственный технический университет,  
e-mail: monodoyiirkutska@mail.ru

**Зачиняев Максим Владимирович,**

обучающийся, Ангарский государственный технический университет,  
e-mail: maks-0905@mail.ru

**Kulshrestha V.,**

Ph. D., Scientist, Scientist of CSIR-Centre Salt & Marine Chemicals Research Institute, India,  
e-mail: vaibhavphy@gmail.com

**НОВЫЕ ПРОТОНООБМЕННЫЕ МЕМБРАНЫ НА ОСНОВЕ  
ПОЛИ-1-ВИНИЛ-1,2,4-ТРИАЗОЛА, АРОМАТИЧЕСКИХ СУЛЬФОКИСЛОТ И  
НАНОДОБАВОК ОКСИДА ГРАФЕНА И СУЛЬФИРОВАННОГО НИТРИДА БОРА**  
Raskulova T.V., Lebedeva O.V., Pozhidaev U.N., Bill E.R., Vakhitov A.R., Zachinyaev M.V.,  
Kulshrestha V.

**NEW PROTON-EXCHANGE MEMBRANES BASED ON  
POLY-1-VINYL-1,2,4-TRIAZOLE, AROMATIC SULPHIC ACIDS, AND GRAPHENE  
OXIDE AND SULPHONED BORON NITRIDE**

**Аннотация.** Получены и исследованы новые протонобменные мембраны на основе смеси поли-1-винил-1,2,4-триазола, фенолдисульфокислоты, 3-пиридинсульфокислоты, функционализированные нанодобавками сульфированного оксида графена и сульфированного нитрида бора. Введение в структуру мембран нанодобавок приводит к росту ионной проводимости.

**Ключевые слова:** протонобменная мембрана, поли-1-винил-1,2,4-триазол, сульфированный оксид графена, сульфированный нитрид бора.

**Abstract.** New proton-exchange membranes based on a mixture of poly-1-vinyl-1,2,4-triazole, phenol disulfonic acid, and 3-pyridine sulfonic acid functionalized with nanoadditives of sulfonated graphene oxide and sulfonated boron nitride have been obtained and studied. The introduction of nanoadditives into the membrane structure leads to an increase in ionic conductivity.

**Keywords:** proton exchange membrane, poly-1-vinyl-1,2,4-triazole, sulfonated graphene oxide, sulfonated boron nitride.

Новым направлением в формировании протонпроводящих мембран является получение на их основе гибридных композитов, содержащих фуллерены, нанотрубки, нановолокна, наночастицы нитрида бора [1]. Добавка малых количеств углеродных наночастиц в полимерные матрицы приводит к значительным изменениям в поведении и свойствах получаемых композитных материалов. В рамках данной работы получены протонпроводящие мембраны на

основе смеси поли-1-винил-1,2,4-триазола (ПВТ), фенолдисульфокислоты (ФДСК), 3-пиридинсульфокислоты (ПСК), функционализированные добавками сульфированного оксида графена (ОГС) и сульфированного нитрида бора (НБС).

Строение мембран подтверждали данными ИК спектроскопии. ИК спектры регистрировали на спектрофотометре «Varian 3100 FT-IR». Удельную электропроводность мембран определяли методом импедансной спектроскопии в интервале температур 30-80 °С при относительной влажности 75 % на приборе Z-3000 (ООО «Элинс»). Измерения проводили в частотном диапазоне 500 – 5 кГц.

В ИК-спектрах мембран имеются полосы поглощения, характерные для органической части композита (соответствующие валентным и деформационным колебаниям триазольного кольца, сульфонатных и ароматических фрагментов). Также появляются дополнительные полосы поглощения, в области 2370 см<sup>-1</sup>, соответствующие гидратированной форме сульфоновой кислоты в ОГС. Для мембран, содержащих НБС, в ИК спектрах имеются характерные широкие полосы поглощения в областях 390, 815 см<sup>-1</sup>, соответствующие колебаниям связей В–N в звеньях НБС.

Значения удельной электропроводности, водопоглощения и энергии активации функционализированных мембран приведены в таблице.

Таблица 1

Водопоглощение (WU), энергия активации переноса протонов и удельная электропроводность ( $\sigma$ ) мембран ПВТ–ФДСК–ОГС (НБС)

| Мембрана         | n : m* | WU (80 °C), (%) | Энергия активации, кДж/моль | $\sigma$ , мСм/см |
|------------------|--------|-----------------|-----------------------------|-------------------|
| ПВТ–ФДСК (10:90) | 2:1    | 200             | 19,50                       | 59,80             |
| ПВТ–ФДСК–ОГС     |        | 86              | 10,52                       | 321,3             |
| ПВТ–ФДСК–НБС     |        | 55              | 12,35                       | 150,5             |
| ПВТ–ПСК (20:80)  | 2:1    | 160             | 16,50                       | 0,495             |
| ПВТ–ПСК–ОГС      |        | 60              | 11,50                       | 62,40             |
| ПВТ–ПСК–НБС      |        | 78              | 11,95                       | 34,80             |

\* – массовое соотношение органической части (n) и неорганического компонента (m) в составе мембран

Анализ данных таблицы 1 показывает, что введение в структуру мембраны ОГС и НБС позволяет дополнительно увеличить их ионную проводимость. При этом введение сульфированного оксида графена обеспечивает достижение максимальной проводимости вплоть до 321 мСм/см.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Покропивный, В. В.** Новые наноформы углерода и нитрида бора / В. В. Покропивный, А. Л. Ивановский // Успехи химии. – 2008. – Т. 77. – № 10. – С. 899-937.