

И. Д. Иванов, магистрант;  
В. В. Климов, доц., канд. хим. наук;  
А. Н. Гайдадин, доц., канд. тех. наук  
(ФГБОУ ВО «ВолГТУ», г. Волгоград, Российская Федерация);  
А. Н. Бушуев, мл. науч. сотр.;  
И. В. Толстобров, мл. науч. сотр.  
(ФГБОУ ВО «ВятГУ», г. Киров, Российская Федерация)

## **ИЗУЧЕНИЕ ТВЕРДЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ НА ОСНОВЕ СМЕСЕЙ ПОЛИМЕРОВ**

В настоящее время, с развитием электромобилей и общим повышением потребности устройств в электроэнергии, существует большая необходимость в создании литий-ионных аккумуляторов высокой плотности энергии. Однако этой цели препятствуют ограничения, связанные с использованием электролитов, состоящих из неорганических жидкостей. Батареи с ними имеют повышенную опасность при использовании и нестабильность при высоких температурах. При заряде-разряде со временем на поверхности анода образуется нерастворимые отложения – дендриты лития. Это не только уменьшает емкость аккумулятора, вследствие уменьшения содержания ионов лития в электролите, но и увеличивает вероятность короткого замыкания из-за соприкосновения дендритов с катодом, что может вызвать, в лучшем случае выход из строя, а в худшем пожар или даже взрыв аккумулятора. Одним из перспективных решений является замена жидких на твердые полимерные электролиты (ТПЭ) [1]. Использование твердотельного электролита не только повышает безопасность из-за уменьшения образования дендритов и обеспечивает стабильность работы, но также увеличивает мощность и ёмкость аккумуляторов.

Однако у существующих ТПЭ есть ряд проблем, связанных с низким показателем ионной проводимости [2]. Перспективным решением данной проблемы является создание электролитов на основе полимерных смесей. Предполагается, что в полимерных смесях, благодаря синергетическому эффекту функциональных групп двух разных полимеров, формируются особые структуры на границе раздела фаз полимеров. Это способствует увеличению ионной проводимости твердых полимерных электролитов [3].

Для систем из смеси полимеров существует множество параметров, влияющих на конечные свойства материала. Одним из главных является совместимость полимеров [4]. Для смесевых электролитов важно, чтобы система состояла из совместимых полимеров. В связи с этим предполагается использовать полимерную пару поливинилиденфторид (ПВДФ) и гидрированный сополимера дивинила и нит-

рила акриловой кислоты (ГБНК). По результатам расчета по методу Аскадского было выяснено, что данная система является предположительно термодинамически совместимой. Из этого можно сделать вывод, что смесевые электролиты на ее основе могут обладать улучшенными характеристиками.

В качестве литийсодержащей соли использовалась соль бис-(три-фторметансульфонил) имид лития (LiTFSI). Анализ ионной проводимости осуществляли с использованием потенциостата-гальваностата PS-50. Структурные формулы используемых веществ представлены на рисунке 1.

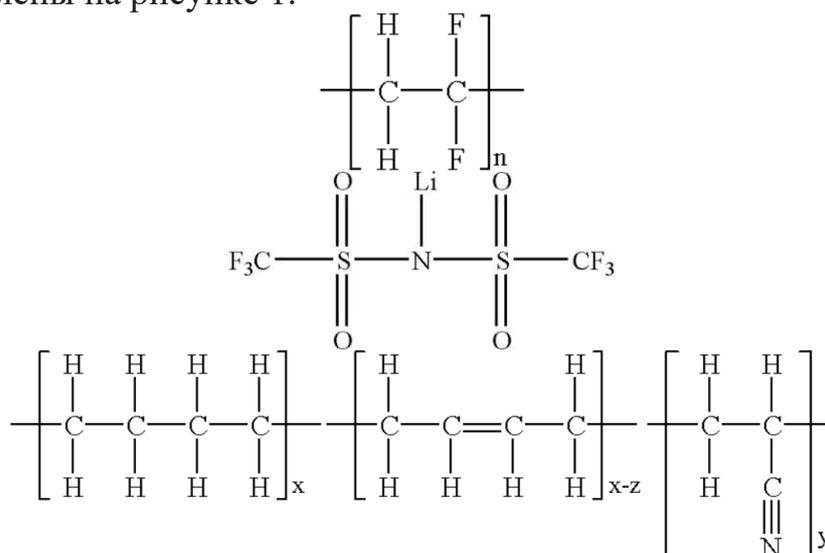


Рисунок 1 – Структурные формулы полимеров и соли лития

Так, при исследовании систем на основе приведенных выше полимеров было выяснено, что ионная проводимость монополимерных электролитов составляет  $2,8 \cdot 10^{-4}$  См/см для ПВДФ и  $1,5 \cdot 10^{-5}$  См/см для ГБНК. При смешении двух полимеров получается смесевой электролит с ионной проводимостью  $2,2 \cdot 10^{-4}$  См/см, и, хотя это не обеспечивает увеличение ионной проводимости, это открывает намного больше возможностей для модернизации системы.

Также было проведено исследование влияния молекулярной массы одного из полимеров на ионную проводимость, а именно ПВДФ, поскольку он оказывает большее влияние на проводящие свойства системы.

Изучив монополимерные электролиты на основе ПВДФ были получены данные, представленные в таблице.

По этим данным можно судить, что явно выраженной зависимости изменения ионной проводимости от молекулярной массы не наблюдается, но ситуация меняется при введении в состав ГБНК.

**Таблица – Зависимость ионной проводимости от молекулярной массы поливинилиденфторида**

Молекулярная масса, а.е.м.·10 <sup>3</sup>	Ионная проводимость, См/см
~1 000	$2,3 \cdot 10^{-4}$
~81	$2,1 \cdot 10^{-5}$
~70	$7,2 \cdot 10^{-4}$
~34	$2,2 \cdot 10^{-5}$
~22	$7,3 \cdot 10^{-4}$

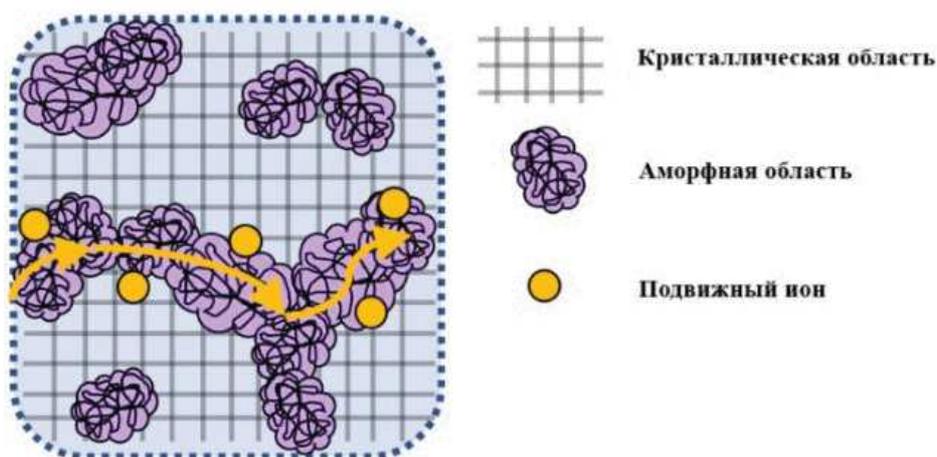
Так, в смеси на основе высокомолекулярного поливинилиденфторида (около 1 000 000 а. е. м.) ионная проводимость составляет  $2,2 \cdot 10^{-4}$  См/см, а при использовании низкомолекулярного ПВДФ (около 70 000 а. е. м.) наблюдается ее увеличение до  $5,79 \cdot 10^{-4}$  См/см.

Предполагается, что данный эффект связан присутствием низкомолекулярного ПВДФ, макромолекула которого обладает большей сегментной подвижностью, что потенциально способствует увеличению ионной проводимости.

Повышение сегментальной подвижности может быть обеспечена за счет добавки пластифицирующих добавок. В данной работе в качестве пластификатора был выбран пропиленкарбонат (ПК).

Предполагается, что ПК и соль лития концентрируется на границе раздела фаз двух полимеров, создавая на ней гелеобразные структуры, увеличивающие ионную проводимость твердого полимерного электролита.

Схематично данный эффект представлен на рисунке 2.



**Рисунок 2 – Образование гелеобразных проводящих структур внутри твердого полимерного электролита**

Установлено, что использование системы поливинилиденфторид, гидрированный сополимер дивинила и нитрила акриловой кислоты, соль бис-(трифторметансульфонил) имид лития и пропиленкарбо-

нат позволяет повысить ионную проводимость на 68% по сравнению с непластифицированной системой.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ярмоленко О. В., Хатмуллин К. Г. Полимерные электролиты для литиевых источников тока: современное состояние и перспективы развития / О. В. Ярмоленко, К. Г. Хатмуллина // АЭЭ, 2010. – № 3. – С. 18.

2. A reflection on polymer electrolytes for solid-state lithium metal batteries. / Z. Song, [et al.] // Nat Commun, 2023. – Vol. 13. – С 14.

3. Исследование твердых электролитов на основе смеси полимеров поливинилиденфторида и гидрированного бутадиен-нитрильного каучука. / О. В. Завидов [и др.] // Известие ВолгГТУ, 2023. – №12(283). – С. 54–61.

4. Изучение совместимости поливинилиденфторида и сополимера бутадиена с акрилонитрилом для применения в качестве полимерной матрицы для твердых полимерных электролитов / О. В. Завидов [и др.] // Химическая технология и техника: материалы 87-й науч.-техн. конф. профес.-преподават. состава, науч. сотрудников и аспирантов (с междунар. участием). – Минск: БГТУ, 2023. – С. 238–240.

УДК 678.01:539.5, 547.371

А. Б. Жураев, проф., д-р техн. наук;  
М. Г. Алимухамедов, проф., д-р техн. наук;  
Р. И. Адиллов, проф., д-р техн. наук;  
А. Т. Худайбердиев, науч. сотр.;  
М. Тохиров, науч. сотр.  
(ТХТИ, г. Ташкент, Республика Узбекистан)

### **РАЗРАБОТКА КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ ТРУБ НА ОСНОВЕ НЕНАСЫЩЕННЫХ ПОЛИЭФИРОВ ИЗ ПЭТ-СОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ**

Благодаря ценным свойствам ненасыщенные полиэферы (НПЭФ) находят применение в качестве конструкционных деталей, изделий общетехнического назначения и ширпотреба, а также сантехнических изделий и лакокрасочных материалов [1].

В Республике Узбекистан за последние годы организованы ряд предприятия по производству стеклопластиков, сантехнических изделий, труб на основе НПЭФ. Это привело к появлению спроса на этот тип полимерных материалов.