

УДК 541. 64:678

DOI: 10.35211/1990-5297-2021-5-252-70-74

*В. А. Козловцев, А. Б. Голованчиков, Е. В. Козловцев, Т. П. Алейникова*

## **РЕГУЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРЕТНЫХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: kozlovtsev\_va@vstu.ru

Предложено устройство для создания полимерных электретов с регулируемой величиной поверхностного заряда, создаваемого с помощью дистиллированной воды, переходящей в электропроводящее состояние под действием комбинированного электромагнитного поля.

**Ключевые слова:** полимерные электреты, поверхностный заряд, комбинированное электромагнитное поле, устройство.

---

© Козловцев В. А., Голованчиков А. Б., Козловцев Е. В., Алейникова Т. П., 2021.

Большинство полимерных материалов являются диэлектриками, переработка и эксплуатация которых приводит к образованию случайных электростатических потенциалов на их поверхностях, что негативно сказывается на условиях их производства и применения. Это нежелательное явление, на первый взгляд, может быть использовано для создания целого ряда новых полимерных материалов с регулируемой величиной заряда. В технике такие материалы получили название полимерные электреты [1–3]. Их уникальные физико-химические свойства открывают широкие возможности применения в радиотехнической, медицинской, электронной, пищевой, космической промышленности. Широкое применение электреты нашли в электроакустике для создания субминиатюрных электретных микрофонов.

Электреты могут создавать стабильные во времени постоянные электрические поля на своих поверхностях, без каких-либо дополнительных источников питания. При этом поверхности электретов могут иметь равные и противоположные по знаку заряды (гетероэлектреты), а также равные заряды одного и того же знака (гомоэлектреты). Наличие таких зарядов позволяет создавать изделия из полимерных материалов с поверхностью, предотвращающей сорбцию одноименно заряженных частиц или наоборот улучшающей сорбцию разноименно заряженных частиц. Например, регулировать угол смачивания поверхностей жидкостями за счет изменения поверхностного натяжения (рис. 1). Причем с увеличением заряда поверхности растет поверхностное натяжение и косинус угла смачивания, т. е. смачиваемость поверхности увеличивается [4].



Рис. 1. Действие сил поверхностного натяжения и электрических сил на поверхность

Поверхностная энергия характеризуется поверхностным натяжением ( $\sigma$ ), а электрическая энергия – электрическим потенциалом ( $\phi$ ), а их взаимосвязь описывается уравнением Липпмана, согласно которому с увеличением потенциала  $\phi$  поверхностное натяжение уменьшается

[5, 6]. Кроме того, полимерные электреты реагируют на внешние электромагнитные поля, благодаря чему их используют как электроакустические преобразователи.

Существующие технологии получения полимерных электретов основаны на использовании постоянного электрического поля и дополнительных энергетических факторов: радиации, механических воздействий и др. При этом в полимерных диэлектриках происходит ориентация диполей в макромолекулах вдоль действующего поля. Возможна объемно-зарядовая поляризация с пространственным разделением зарядов, а также захват внешних зарядов в объемных ловушках – электрически активных дефектах материала, например, при облучении электронным пучком [2].

Анализ научно-технической информации показал, что равномерность распределения зарядов по поверхности электрета может быть достигнута за счет замачивания изделия в жидкостях, например, в спиртах, диметилсульфоксиде, диметилформамиде, ацетонитриле, ацетоне, содержащих не менее 10 % (об.) воды [7, 8]. Указанные способы являются разновидностью методов контактной электризации [1], для которой характерна низкая величина и стабильность поверхностной плотности заряда получаемых электретов. Показано, что электретированию подлежат не только полимерные диэлектрики, но и некоторые оксиды. Например, танталовые импланты различной конфигурации, покрытые  $Ta_2O_5$  [8].

Данные методы [6] не обеспечивают однородность, воспроизводимость и регулирование распределения поверхностной плотности заряда, что приводит к снижению стабильности электретов в условиях эксплуатации (особенно при повышенной влажности) и в целом являются не технологичными, многостадийными и энергоемкими.

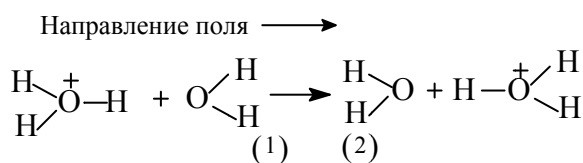
Поэтому создание технологии и устройств для изготовления полимерных электретов, позволяющих устранить указанные недостатки является актуальной задачей.

Целью данной работы является создание устройства для изготовления полимерных электретов с регулируемой и равномерно распределенной величиной зарядов на их поверхностях.

В основу разрабатываемой модели положен метод контактной электризации. В качестве контактов с полимерным диэлектриком использовали дистиллированную воду, которая под

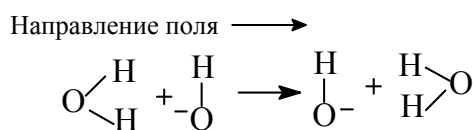
действием постоянного электрического [9] или высокочастотного [10] полей становится электропроводящей. Особенно такой эффект можно наблюдать при совместном воздействии полей (эффект Вина и Дебая-Фалькенгагена), приводящих к повышенной диссоциации воды и высокой подвижности образующихся ионов [11–13]. Физическая сущность этих эффектов обусловлена существованием ионной атмосферы. Вин показал, что электропроводность начинает возрастать с увеличением напряженности поля, что обусловлено такой скоростью движения ионов, при которой ионная атмосфера не успевает образоваться. Исчезают все связанные с ней тормозящие эффекты – электрофоретический и релаксационный. Поэтому влияние напряженности поля на электропроводность слабых электролитов связано с изменением степени электролитической диссоциации под действием приложенного поля.

Под действием высоких частот ионы в растворе не перемещаются, а лишь совершают колебательные движения в направлении вектора электрического поля. Центральный ион при этом не успевает выйти за пределы ионной атмосферы, которая также не успевает заметно разрушиться, а в каждый данный момент только колеблется в направлении, обратном движению центрального иона. В этом случае силы, связанные с разрушением и созданием ионной атмосферы, т. е. релаксационные тормозящие силы проявляются в меньшей степени, и электропроводность раствора воды растет. Ионы гидроксония обмениваются протонами с соседними молекулами воды:



Направление движения протона и перемещения иона гидроксония  $\longrightarrow$

Или протон воды переходит к аниону гидроксида:



Направление движения протона  $\longrightarrow$   
 $\longleftarrow$  Направление перемещения аниона гидроксида.

Таким образом, дистиллированная вода за счет высокой электропроводности под действием постоянного и высокочастотного электрического поля создает контакт между электродами и электризуемым полимером. Концентрация носителей зарядов, окружающих катод и анод, будет определяться расстоянием от электрода, величиной потенциала и частотой электрического поля. При этом чем ближе полимерный материал к электродам, тем вероятнее образование гомозаряда на поверхности электрета в случае его инжекции. То есть регулируя положение электризуемого материала относительно электродов, можно изменять плотность зарядов у его поверхности.

Разработанная схема устройства для получения полимерных электретов представлена на рис. 2 [12].

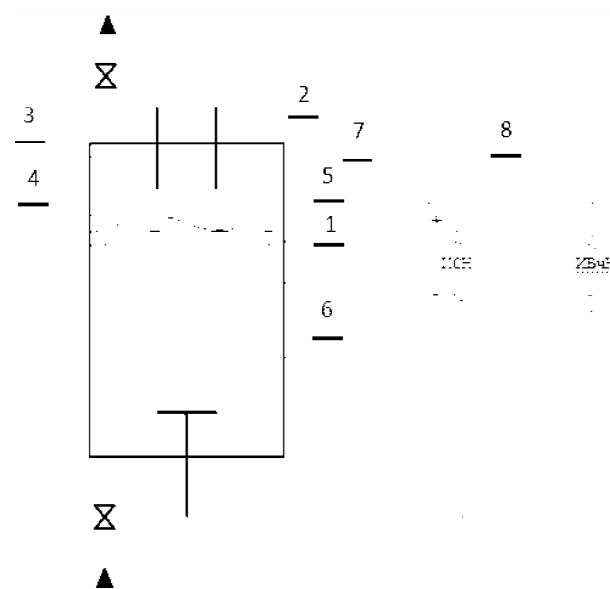


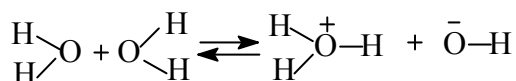
Рис. 2. Устройство для изготовления полимерных электретов:  
 1 – корпус; 2, 3, 6 – электроды; 4 – образец; 5 – сетка;  
 7 – ИСН, 8 – ИВЧН

Устройство для изготовления электретов состоит из диэлектрического корпуса 1, заполненного дистиллированной водой, с расположенными внутри графитовыми электродами 2 и 3 для поляризации диэлектрических материалов 4, размещенных на диэлектрической сетке 5, а также электрода 6.

Поляризация диэлектрических материалов под действием источников стабилизированного напряжения (ИСН) 7 (1÷12 в) и высокочастотного низковольтного напряжения (ИВЧН) 8 (1÷12 в) протекает под действием ионов, образующихся при диссоциации воды. Для изготов-

ления электретов могут использоваться диэлектрические материалы в форме тканей, волокон, пленок, твердых пластин, гранул и изделий сложной конфигурации.

Устройство работает следующим образом: при подаче низковольтного высокочастотного напряжения на электрод 3 молекулы дистиллированной воды приобретают дополнительную колебательную энергию и повышенную способность к диссоциации. Причем частота, излучаемая генератором высокочастотных колебаний, соответствует частоте или гармоникам резонансным колебаниям, способствующим диссоциации воды на ионы гидроксония и гидроксида, а не валентным или валентно-ножничным колебаниям связей, приводящим к образованию кислорода и водорода:



Приложенное к электроду 2 стабилизированное напряжение создает между ним и электродом 6 постоянное электрическое поле, увеличивающее время существования воды в диссоциированном на ионы состоянии. Такое состояние сохраняется и после прекращения действия комбинированного поля в течение трех недель. Удельная электрическая проводимость ионизированной воды ( $36 \cdot 10^{-4} \text{ ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ ) в десять раз превышает удельную электрическую проводимость исходной дистиллированной воды. Высокочастотные колебания фрагментов воды и их высокая концентрация при повышенной диссоциации воды передаются на молекулы диэлектрика, находящиеся на поверхности диэлектрических материалов, увеличивая их подвижность, а постоянное стабилизированное поле создает условия их ориентации, что также способствует более глубокому проникновению зарядов, стекающих с электродов 2 и 3 вглубь диэлектрических материалов, повышая скорость образования электретного состояния.

Электретированию на описанном устройстве подвергались образцы политетрафторэтилена, способного длительное время сохранять свое электретное состояние [1, 2], в виде пластин толщиной 3 мм и диаметром 50 мм, изготовленных методом механической обработки. Процесс проводили в течение 3–6 часов. Определение поверхностных зарядов политетрафторэтилена проводили по ГОСТ 25209-82 мето-

дом подъемного электрода, позволяющего определить поверхностную плотность заряда и потенциал поверхности электрета. Использовали электроды из нержавеющей стали площадью  $1,96 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$ , находящиеся на диэлектрической подставке из фторопласта - 4, и емкостью конденсатора  $7,36 \cdot 10^{-10} \text{ Ф}$ .

Средняя величина поверхностной плотности зарядов на электрете из политетрафторэтилена составила  $1 \cdot 10^{-8} \text{ Кл / м}^2$ . Невысокое значение поверхностной плотности зарядов в данном эксперименте обусловлено низкими значениями потенциалов, использованных постоянного и высокочастотного полей (2 в).

Проведенными исследованиями [11–13] показано, что регулирование поверхностной плотности зарядов полимерных материалов может осуществляться за счет изменения значений постоянного потенциала электродов, частоты и амплитуды высокочастотного поля, а также от положения образцов относительно электродов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Лушцейкин, Г. А.* Методы исследования электрических свойств полимеров / Г. А. Лушцейкин. – М.: Химия, 1988. – 160 с.
2. *Сесслер, Г.* Электреты / Г. Сесслер. – М.: Мир, 1983. – 487 с.
3. *Галиханов, М. Ф.* Полимерные короноэлектреты: традиционные и новые технологии и области применения / М. Ф. Галиханов, Р. Я. Дебердеев // Вестник Казанского технологического университета. – 2010. – № 4. – С. 45–57.
4. *Жданов, К. В.* Исследование влияния электростатического заряда поверхности на краевой угол смачивания / К. В. Жданов, М. С. Ерохин, М. Ю. Степкина, А. А. Жирнов, О. Б. Кудряшова // Ползуновский вестник. – 2016. – № 2. – С. 222–226.
5. *Антропов, Л. И.* Теоретическая электрохимия. Учеб. для хим. технолог. спец. вузов / Л. И. Антропов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1984. – 519 с.
6. *Плевачук, В. Г.* Влияние заряда полимерного электрета на растекание жидкости / В. Г. Плевачук, И. М. Вертячих, В. А. Гойдаде, Л. С. Пинчук // ВМС Сер А. – 1995. – Т. 37, № 10. – С. 1728–1731.
7. Патент № 2266771 РФ, МПК В 01D 39/16. Способ и устройство для изготовления волокнистого электретного полотна с применением смачивающей жидкости и водной полярной жидкостью / Ейтцман Ф. Д., Руссо А. Д. Заявлено 24.01.2000. Оpubл. 27.12.2005, Бюлл. № 36. Приоритет 24.01.2000.
8. Патент № 2521598 РФ, МПК Н 01G 7/02, А 61F 2/02. Способ изготовления электретов / Моргунов М. С. Заявлено 13.01.2011. Оpubл. 10.07.2014. Бюлл. № 19. Приоритет 13.01.2011.
9. *Вин, М.* Структура электролитических растворов / М. Вин, Г. Иоос, Э. Ланге // Журнал успехи физических наук под ред. П. П. Лазарева и Э. В. Шпольского. – 1929. – Т. IX. Вып. 3. – Главнаука. Госиздат. М. – С. 339–379.

10. Девис, С. Электрохимический словарь / С. Девис, А. Джеймс ; под ред. Л. Г. Феоктистова. – М.: Мир, 1979. – 288 с.

11. Патент № 2258563 РФ, С 1 В 01J 49/00, C02F 1/46. Способ регенерации ионообменного материала / Козловцев В. А., Голованчиков А. Б., Ходырев Д. В. и др. Заявлено 28.06.2004. Оpubл.20.08.2005, Бюлл. № 23. Приоритет 28.06.2004.

12. П. М. № 196451 РФ, H 01G 13/00, H 01 G 7/00. Устройство для изготовления электретов / Козловцев В. А., Голованчиков А. Б., Козловцев Е. В. и др. Заявлено 18.07.2019. Оpubл.02.03.2020, Бюлл. № 7. Приоритет 18.07.2019.

13. П. М. № 192987 РФ, МПК H 01G 13/02, H 01 G 7/02. Устройство для изготовления электретов / Козловцев В. А., Голованчиков А. Б., Козловцев Е. В. и др. Заявлено 18.07.2019. Оpubл.09.10.2019, Бюлл. № 28. Приоритет 18.07.2019.

#### REFERENCES

1. Lushchejkin, G. A. Metody issledovaniya elektricheskikh svojstv po-limerov / G. A. Lushchejkin. - M.: Himiya, 1988. – 160 s.

2. Sessler, G. Elektrety / G. Sessler. – M.: Mir, 1983. – 487 s.

3. Galihanov, M. F. Polimernye koronoelektrety: tradicionnye i novye tekhnologii i oblasti primeneniya // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta / M. F. Galihanov, R. YA. Deberdeev. – 2010. - № 4. - S. 45-57.

4. Zhdanov, K. V. Issledovanie vliyaniya elektrostaticheskogo zaryada poverhnosti na kraevoy ugol smachivaniya / K. V. Zhdanov, M. S. Erohin, M. YU. Stepkina, A. A. Zhirnov, O. B. Kudryashova. // Polzunovskij vestnik. – 2016. - № 2. – S. 222-226.

5. Antropov, L. I. Teoreticheskaya elektrohimiya. Ucheb.

dlya him. tekhnolog. spec. vuzov. – 4-e izd., pererab. i dop. – M.; Vyssh. shk., 1984. -519 s.

6. Plevachuk, V. G. Vliyanie zaryada polimernogo elektreta na rastekanie zhidkosti // VMS Ser A. / V. G. Plevachuk, I. M. Vertyachih, V.A. Goj-dade, L. S. Pinchuk. – 1995. - Т. 37, № 10, s. 1728-1731.

7. Patent № 2266771 RF, МПК В 01D 39/16. Eitcman F. D., Russo A. D. Sposob i ustrojstvo dlya izgotovleniya voloknistogo elektretного polotna s primeneniem smachivayushchej zhidkosti i vodnoj polyarnoj zhidkost'yu. Zayavleno 24.01.2000. Opubl.27.12.2005. Byull. № 36. Prioritet 24.01.2000.

8. Patent № 2521598 RF, МПК H 01G 7/02, A 61F 2/02. Morgunov M. S. Sposob izgotovleniya elektretov. Zayavleno 13.01.2011. Opubl.10.07.2014. Byull. № 19. Prioritet 13.01.2011.

9. Vin, M. Struktura elektroliticheskikh rastvorov // ZHurnal uspekhi fizicheskikh nauk pod red. P. P. Lazareva i E. V. SHpol'skogo / M. Vin, G. Ioos, E. Lange. – 1929. - Т. IX. Vyp. 3.- Glavnauka. Gosizdat. M. - S. 339-379.

10. Devis, S. Elektrohimiicheskij slovar' pod red. L. G. Feoktistova / S. Devis, A. Dzhjems.- M.: Mir, 1979, 288 s.

11. Патент № 2258563 РФ, С 1 В 01J 49/00, C02F 1/46. Козловцев В. А., Голованчиков А. Б., Ходырев Д. В. и др. Способ регенерации ионообменного материала. Заявлено 28.06.2004. Оpubл.20.08.2005. Бюлл. № 23. Приоритет 28.06.2004.

12. П. М. № 196451 РФ, H 01G 13/00, H 01 G 7/00. Козловцев В. А., Голованчиков А. Б., Козловцев Е. В. и др. Устройство для изготовления электретов. Заявлено 18.07.2019. Оpubл.02.03.2020. Бюлл. № 7. Приоритет 18.07.2019.

13. П. М. № 192987 РФ, МПК H 01G 13/02, H 01 G 7/02. Козловцев В. А., Голованчиков А. Б., Козловцев Е. В. и др. Устройство для изготовления электретов. Заявлено 18.07.2019. Оpubл.09.10.2019. Бюлл. № 28. Приоритет 18.07.2019.

*V. A. Kozlovtssev, A. B. Golovanchikov, E. V. Kozlovtssev, T. P. Aleinikova*

#### REGULATION OF ELECTRET PROPERTIES OF POLYMER MATERIALS

*Volgograd State Technical University*

**Abstract.** A device is proposed for creating polymer electrets with an adjustable surface charge generated with distilled water, which transforms into an electrically conductive state under the action of a combined electromagnetic field.

**Keywords:** polymer electretes, surface charge, combined electromagnetic field, device.