

Электрофизические свойства композитов на основе полиэтилена низкой плотности и цеолитового минерала

**А. М. Магеррамов, В. Дж. Джафаров, М. Н. Байрамов,
Н. Ш. Алиев, П. Ш. Алханов, Г. Х. Мусаева**

Получены композиты на основе гомогенной смеси полиэтилена низкой плотности (ПЭНП) с порошкообразным природным цеолитом (клиноптиолит и гейландит — Агдагское месторождения, Азербайджан) в виде пленочных образцов толщиной 140 – 200 мкм и диаметром 20 мм, путем горячего прессования при температуре 403 – 413 К и давлении 15 МПа с последующей закалкой их в смеси лед – вода. Измерены диэлектрические параметры — действительная часть диэлектрической проницаемости (ϵ'), тангенс угла диэлектрических потерь ($\text{tg}\delta$) и электрическая проводимость (σ) образцов композитов 60 об. % ПЭНП/40 об. % цеолит, 40 об. % ПЭНП/60 об. % цеолит при частотах $25 - 10^6$ Гц и интервале температур 293 – 403 К. На основе температурной зависимости электрофизических параметров образцов композитов выявлено, что $\text{tg}\delta$ и σ возрастают с увеличением содержания наполнителя, и это связано с повышением концентраций носителей зарядов и их подвижности. Изучение частотных зависимостей $\epsilon' = f(\text{lg}\nu)$, $\text{tg}\delta = f(\text{lg}\nu)$ и $\text{lg}\sigma = f(\text{lg}\nu)$ показало наличие двух линейных областей частотных зависимостей электропроводности, которые изменяются по закону $\sigma_{\text{ac}}(\nu) \sim \nu^{0.73}$, а это более соответствует прыжковому механизму электропроводности композитов ПЭНП/цеолиты.

Ключевые слова: полиэтилен, композит, цеолит, действительная часть диэлектрической проницаемости, проводимость, температурная и частотная зависимость, изоляция, модификация.

DOI: 10.30791/1028-978X-2020-8-65-72

Введение

В настоящее время получение многофункциональных полимерных композитов и изучение их свойств является одним из основных перспективных направлений в материаловедении. Известно, что полимерные диэлектрики и электроактивные нанокomпозиционные материалы на их основе имеют широкий спектр применения [1 – 4].

При разработке новых полимерных композиционных материалов исследователи обращают особое внимание на изучение влияния температуры, частоты внешнего электрического поля, различных типов ионизирующих излучений и т.д. на электрические, диэлектрические, магнитные и другие свойства композитов [5 – 10]. Добавление наполнителей (в большинстве случаев неорганической

природы) в полимеры улучшают их физические и механические свойства, повышают их химическую стойкость к различным агрессивным средам, водо- и теплостойкость, светостойкость, стойкость к радиации [10, 11]. Разработка и производство новых полимерных материалов со специфическими свойствами представляет большую сложность. Одним из наиболее перспективных решений этой проблемы является физическая модификация существующих полимеров в сочетании с другими полимерами и природными наполнителями [2 – 5, 8 – 10]. Большой научно-практический интерес представляют полимерные композиции на основе полиэтилена наполненные цеолитом [12].

До настоящего времени были исследованы физико-механические свойства композитов на основе полиэтилена низкой плотности (ПЭНП)

наполненных цеолитом [13, 15]. По сравнению с дорогостоящими синтетическими цеолитами, природные цеолиты намного дешевле и отличаются водостойкостью. В настоящее время изучение электрофизических свойств полимерных композиций содержащих природные цеолиты представляет особый интерес [15 – 17].

Природные цеолиты — кристаллические водные алюмосиликаты, относительно новый класс минерального сырья, используемого в технологических процессах очистки и доочистки сточных вод. Развитая удельная поверхность, хорошие адгезионные, адсорбционные и ионообменные свойства цеолитов дают возможность применения их в различных отраслях промышленности [4, 12].

В ряде случаев для улучшения тех или иных свойств композитов цеолиты обрабатывают электрическим разрядом [15]. Было показано, что воздействие электрического разряда на природный цеолит приводит не только к его структурным изменениям, но и к изменениям электрических и адсорбционных характеристик.

Обнаружено, что цеолит повышает электретные свойства полиэтилена, так при его введение в количестве 6 об. % повышается электретная разность потенциалов в 3 раза, что в работах [10, 16] связывают с накоплением носителей заряда на границе раздела фаз “полимер – наполнитель”.

Цель данной работы — исследование электрофизических свойств композитов на основе ПЭНП и природного цеолита в режиме переменного тока.

Получение образцов и методы исследования

Композиты получены по методике [13] на основе гомогенной смеси ПЭНП марки 15803-20 по ГОСТ 16337-77 с порошкообразным природным цеолитом (минеральный состав: клиноптиолит и гейландит — Агдагское месторождения, Товузкий район Азербайджана). Термостойкость цеолита в виде измельченных пластинок составляет 200 – 400 °С. Химический состав и микроструктура цеолита приведены в табл. 1 и на рис. 1. Из композиции ПЭНП/цеолит изготовлены пленочные об-

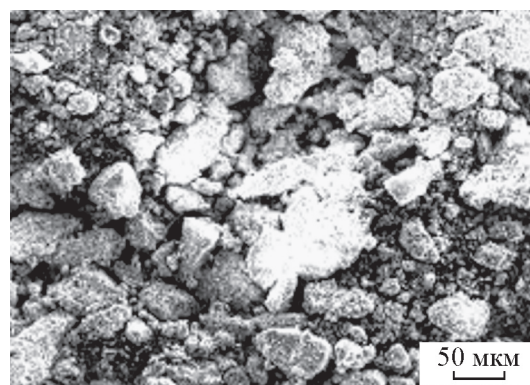
Таблица 1

Химический состав цеолита клиноптиолит и гейландит

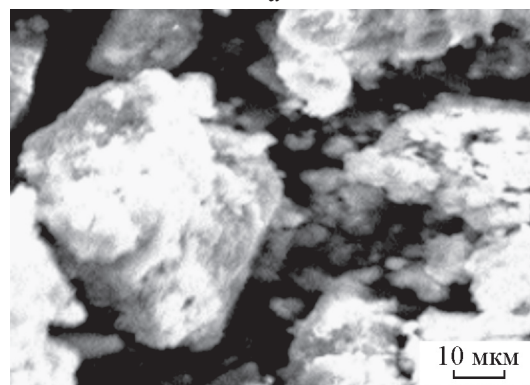
Table 1

Chemical composition of clinoptilolite and heylandite zeolites

SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	Na ₂ O + K ₂ O
64,2	16,2	4,19	3,35	2,43	0,38	2,9



a



b

Рис. 1. Микроструктура образцов цеолита при разном увеличении. Размер частиц цеолита составляет до 50 мкм.

Fig. 1. Structure of zeolite samples, particle size of zeolite is up to 50 microns.

разцы толщиной 140 – 200 мкм и диаметром 20 мм, путем горячего прессования на гидравлическом прессе при температуре 403 – 413 К и давлении 15 МПа с последующей закалкой их в смеси лед – вода. В композите объемное соотношение матрица: наполнитель составляло 40:60 и 60:40 об. % [13].

Температурные зависимости диэлектрических параметров $\epsilon'(T)$, $\text{tg}\delta(T)$ и электрической проводимости $\sigma(T)$ измеряли на переменном токе, в двух электродной системе в ячейке типа “сэндвич”, с помощью импеданса E7-20 при частоте 1 кГц в интервале температур 293 – 413 К. Частотные зависимости диэлектрических параметров $\epsilon'(v)$, $\text{tg}\delta(v)$ и электрической проводимости $\sigma(v)$ измеряли с помощью импеданса E7-20 в интервале частот 25 – 10⁶ Гц при температуре 293 К. Истинную часть диэлектрической проницаемости рассчитывали по следующей формуле:

$$\epsilon' = \frac{C \cdot d}{\epsilon_0 \cdot S},$$

где C — электрическая емкость плоского образца, S — площадь поверхности плоского образца, d — толщина образца, ϵ_0 — электрическая постоянная, $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м.

Результаты и их обсуждение

На рис. 2 приведены температурные зависимости действительной части диэлектрической проницаемости $\epsilon' = f(T)$, тангенса угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta = f(T)$, электрической проводимости $\lg\sigma = f(T)$ образцов композитов 40 об. % ПЭНП/60 об. % цеолит и 60 об. % ПЭНП/40 об. % цеолит. Как видно из рис. 2а (кривые 1 и 2) во всей области температур 293 – 403 К значения ϵ' для образцов композита содержащих 60 об. % цеолита в целом выше, чем у образцов содержащих 40 об. % цеолита (например, значения ϵ' при 293 К соответственно равно 12,6 и 10, а при 403 К — 13,3 и 10). На температурной зависимости действительной части диэлектрической проницаемости $\epsilon' = f(T)$ (рис. 2а, кривая 1) для образцов композита 40 об. % ПЭНП/60 об. % цеолит наблюдается 4 области изменений: I область — повышение значения ϵ' , начиная с температуры 293 до 323 К (максимум при 323 К, $\epsilon' = 13,39$); II область — снижение в интервале температур от 323 до 373 К (минимум при 373 К, $\epsilon' = 10,8$); III область — увеличение при температурах 373 – 393 К (максимум при 393 К, $\epsilon' = 14,14$); IV область — снижение в диапазоне температур 393 – 403 К ($\epsilon' = 13,3$). На рис. 2а, кривой 2, для образцов композита 60 об. % ПЭНП/40 об. % цеолит наблюдается 3 области изменения: I область — значение ϵ' плавно повышается и достигает максимума при 323 К ($\epsilon' = 11$); II область — снижается в интервале температур от 323 до 373 К (минимум при 373 К, $\epsilon' = 8,96$); III область — в интервале температур 373 – 403 К увеличивается до $\epsilon' = 10$. Существование пика при температуре 323 К может быть связано с процессом дипольной ориентации молекул адсорбированной воды. Ход изменений на кривой 2 практически совпадает с изменениями на кривой 1 в интервале температур 293 – 358 К, наблюдаемая разница в значениях ϵ' зависит от объемного содержания наполнителя. С другой стороны, следует отметить, что увеличение концентрации наполнителя сопровождается уменьшением диэлектрических слоев между частицами, что приводит к увеличению ϵ' из-за увеличения электрической емкости. Надо отметить, что характер изменения диэлектрической проницаемости ϵ' нанокompозитов в зависимости от температуры может быть объяснен следующим об-

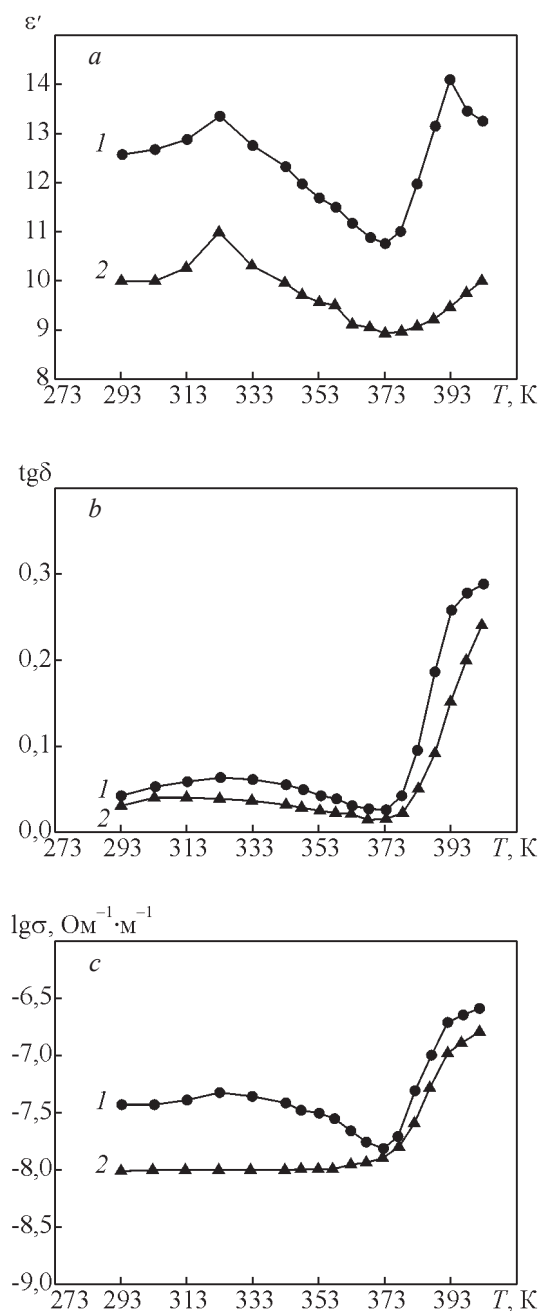


Рис. 2. Температурные зависимости: а — действительной части диэлектрической проницаемости $\epsilon' = f(T)$, б — тангенса угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta = f(T)$; в — логарифмического значения электропроводности $\lg\sigma = f(T)$, образцов: 1 — 40 об. % ПЭНП/60 об. % цеолит; 2 — 60 об. % ПЭНП/40 об. % цеолит.

Fig. 2. Temperature dependences of: а — the real part of dielectric constant $\epsilon' = f(T)$, б — dielectric loss tangent $\text{tg}\delta = f(T)$, в — logarithmic value of electrical conductivity $\lg\sigma = f(T)$, 1 — 40 vol. % LDPE/60 vol. % zeolite; 2 — 60 vol. % LDPE/40 vol. % zeolite.

разом. Предполагается, что микро- и наночастицы, стабилизированные в объеме полимерной матрицы, можно рассматривать как точечные источники тепловой генерации носителей заряда. В этом случае нагрев материала ведет к повышению концентрации носителей сосредоточенных на частицах наполнителя, и создает возможность преодоления ими потенциального барьера на межфазной границе. Это согласуется с работами [5 – 10], в которых предположено, что в разных областях температур значения ϵ' и $\text{tg}\delta$ существенно зависят от молекулярной подвижности различных звеньев макромолекул.

На рис. 2*b* приведена температурная зависимость тангенса угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta = f(T)$ исследуемых образцов.

Как видно, из рис. 2*b* (кривые 1 и 2) в интервале температур 293 – 373 К значения $\text{tg}\delta$ для образцов композитов с большим содержанием цеолита (60 об. %) немного выше (кривая 1), в месте тем, характер изменения этих параметров практически одинаковый. Наблюдаемые повышения значений $\text{tg}\delta$ в области температур 373 – 403 К может быть связан как возрастанием α -релаксационных процессов, так и увеличением объемной проводимости при указанных температурах.

Как видно, из приведенных зависимостей $\lg\sigma = f(T)$ (рис. 2*c*), в интервале температур 293 – 353 К ход изменений значений проводимости двух образцов одинаковый. В интервале температур 373 – 403 К на обеих кривых наблюдается повышение значений проводимости. Можно отметить, что этот рост обусловлен высвобождением электронов из ловушек в процессе нагрева и повышением сегментальной подвижности полимерной матрицы [9, 11, 19].

На рис. 3 приведены частотные зависимости электрофизических параметров образцов $\epsilon' = f(\nu)$, $\text{tg}\delta = f(\nu)$ и $\lg\sigma = f(\nu)$. Изучая частотную зависимость действительной части диэлектрической проницаемости $\epsilon' = f(\lg\nu)$ (рис. 3*a*, кривые 1 и 2), можно увидеть, что значения ϵ' в интервале частот 25 – 10⁶ Гц для образцов 60 об. % ПЭНП/40 об. % цеолит (кривая 2) выше, хотя характер изменений обеих кривых практически одинаковый. Так, как на обеих кривых наблюдается уменьшение значений ϵ' в направлении от низкой ($\nu = 25$ Гц) до высокой частоты ($\nu = 10^6$ Гц) и это снижение является линейным. Так же можно отметить, что при низких частотах приложенного напряжения все свободные дипольные элементы в композите легко ориентируются по полю (ориентационная поляризация) и при этих частотах

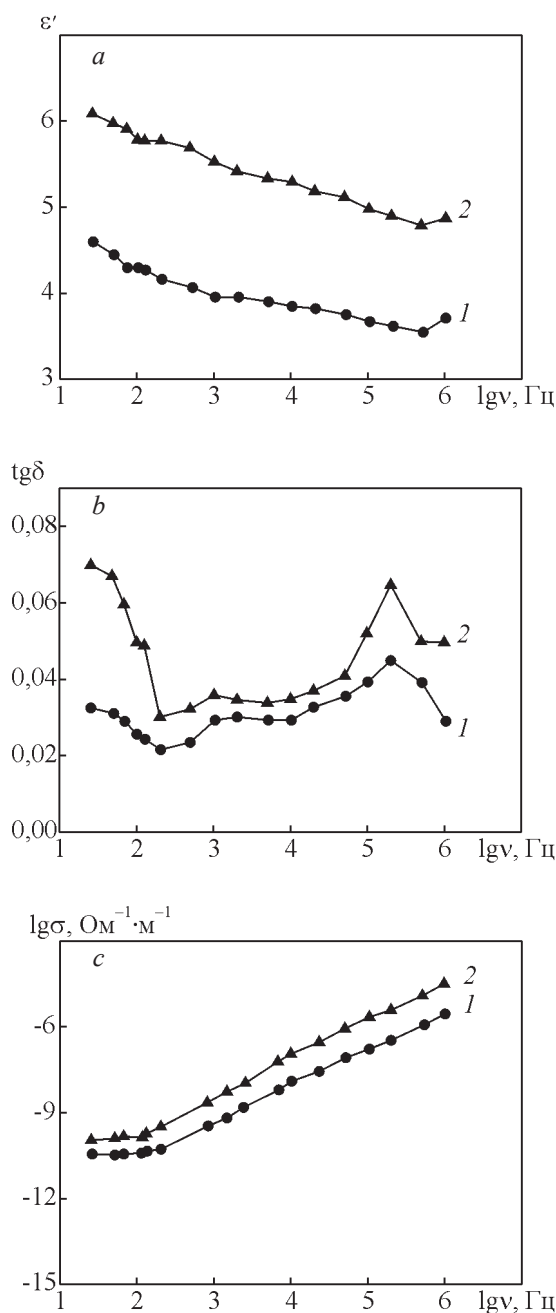


Рис. 3. Частотные зависимости: *a* — действительной части диэлектрической проницаемости $\epsilon' = f(\lg\nu)$, *b* — тангенса угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta = f(\lg\nu)$, *c* — логарифмического значения электропроводности $\lg\sigma = f(\lg\nu)$, образцов: 1 — 40 об. % ПЭНП/60 об. % цеолит, 2 — 60 об. % ПЭНП/40 об. % цеолит.

Fig. 3. Frequency dependences: *a* — the real part of dielectric constant $\epsilon' = f(\lg\nu)$, *b* — dielectric loss tangent $\text{tg}\delta = f(\lg\nu)$, *c* — logarithmic value of the electrical conductivity $\lg\sigma = f(\lg\nu)$, samples: 1 — 40 vol. % LDPE/60 vol. % zeolite, 2 — 60 vol. % LDPE/40 vol. % zeolite.

формируют высокие значения диэлектрической проницаемости. При высоких частотах из-за понижения подвижности дипольных элементов, затрудняется их ориентация, и ориентационная поляризация исчезает, а это приводит к снижению ϵ' .

На рис. 3b видно, что значения $\operatorname{tg}\delta$ для образцов 60 об. % ПЭНП/40 об. % цеолит, то есть с меньшим содержанием цеолита (40 об.%) выше, хотя характер изменений зависимостей $\operatorname{tg}\delta = f(\operatorname{lg}v)$ для образцов обоих составов одинаковый.

Как показано на рис. 3c наблюдаются 2 области изменений значений электропроводности: I область — при 25 – 120 Гц, II область — при $2 \cdot 10^2 - 10^6$ Гц. Для области II характерно линейное повышение проводимости с увеличением частоты. При низких частотах (I область) на переменном напряжении снижение проводимости (σ_{ac}) в зависимости от частоты может быть объяснено межфазной поляризацией (поляризация Максвелла – Вагнера) обуславливаемой захватом объемных зарядов на межфазной границе и полярными элементами образующимися в результате частичного окисления образцов при термическом прессовании. Напряжение, приложенное к образцу в этой области, переносит носители зарядов системы на большие расстояния и в данной области преобладает электропроводность σ_{ac} . Здесь увеличение частоты приводит к уменьшению среднего расстояния переноса носителей зарядов, а фактическая часть электропроводности изменяется по закону $\sigma_{ac}(v) \sim v^{0,73}$ после того, как критическое значение частоты достигает определенного значения — v_c .

С увеличением частоты относительно быстро увеличение $\sigma_{ac}(v)$ обусловлено электронной поляризацией [13 – 15]. Как правило, наличие линейных участков на зависимости $\ln\sigma_{ac} = f(\ln v)$ для гетерогенной системы, к которой относятся исследованные нами композиты 60 об. % ПЭНП/40 об. % цеолит и 40 об. % ПЭНП/60 об. % цеолит, указывает на прыжковый механизм переноса зарядов.

Выводы

1. Исследованы диэлектрические параметры ϵ' , $\operatorname{tg}\delta$ и проводимость σ в интервале температур 293 – 403 К композитов на основе ПЭНП с порошкообразным природным цеолитом закристаллизованных закалкой расплава при температуре 403 – 413 К составов 60 об. % ПЭНП/40 об. % цеолит и 40 об. % ПЭНП/60 об. % цеолит. Установлено, что диэлектрические потери $\operatorname{tg}\delta$ и электрическая проводимость σ возрастают с увеличением содержания наполнителя, что связано с повышением

концентраций носителей зарядов и их подвижности.

2. Изучение частотных зависимостей $\epsilon' = f(\operatorname{lg}v)$, $\operatorname{tg}\delta = f(\operatorname{lg}v)$ и $\operatorname{lg}\sigma = f(\operatorname{lg}v)$ в интервале частот 25 – 10^6 Гц показало наличие двух линейных областей частотных зависимостей электропроводности, которые изменяются по закону $\sigma_{ac}(v) \sim v^{0,73}$, а это более соответствует прыжковому механизму электропроводности композитов ПЭНП/цеолиты.

Литература

1. Tanaka T. Dielectric nanocomposites with insulating properties. IEEE Trans. Diel. Electr. Insul. 2005, v. 12, no. 5, p. 914 – 918.
2. Krishnamoorti R. Advanced Polymer-Nanocomposites: Novel Properties and Applications Chem. Mater., 2007, v. 19, p. 2736 – 2751.
3. Njugun J., Peilichowski K. Polymer nanocomposites for aerospace applications: fabrication Adv.Eng.Mater., 2004, no. 6, p. 193 – 210.
4. Козлов Г.В. Структура и свойства дисперсно-наполненных полимерных нанокомпозитов. УФН, 2015, т. 185, № 1, с. 35 – 64.
5. Ульзутуев А.Н., Ушаков Н.М. Исследования температурных зависимостей диэлектрических свойств металлополимерных композитных материалов на основе наночастиц оксида цинка, стабилизированных в матрице полиэтилена высокого давления. Письма в ЖТФ, 2008, т. 34, вып. 19, с. 73 – 78.
6. Чмутин И.А., Рывкина Н.Г., Соловьева А.Б., Кедрин Н.Ф., Тимофеева В.А., Рожкова Н.Н., McQueen D.H. Особенности электрических свойств композитов с шунгитовым наполнителем. ВМС, серия А, 2004, т. 46, № 6, с. 1061 – 1070.
7. Дубникова И.Л., Кедрин Н.Ф., Соловьева А.Б. и др. Влияние природы наполнителя на кристаллизацию и механические свойства наполненного полипропилена. Высокомолекулярные соед., 2003, v. 45, p. 468 – 475.
8. Москалюк О.А., Алешин А.Н., Цобкалло Е.С., Крестинин А.В., Юдин В.Е. Электропроводность полипропиленовых волокон с дисперсными углеродными наполнителями. ФТТ, 2012, т. 54, вып. 10, с. 1993 – 1998.
9. Ульзутуев А.Н., Ушаков Н.М., Юрков Г.Ю., Кособудский И.Д. Тепловой гистерезис диэлектрических свойств композитов на основе наночастиц оксидов и сульфидов переходных металлов в матрице полиэтилена высокого давления. Письма в ЖТФ, 2009, т. 35, вып. 10, с. 80 – 86.
10. Магеррамов А.М. Структурное и радиационное модифицирование электретных, пьезоэлектрических свойств полимерных композитов. Баку: Элм, 2001, 327 с.
11. Ванников А.В., Матвеев В.К., Сичкарь В.П., Тютнев А.П. Радиационные эффекты в полимерах. Электрические свойства. М.: Наука, 1982, 272 с.

12. Соколова М.Д., Давыдова М.Л., Шадрин Н.В. Применение природных цеолитов при создании морозостойких резин уплотнительного назначения. “Технические науки — от теории к практике”: материалы XIV международной заочной научно-практической конференции. 10 октября 2012 г.; Под ред. Я. А. Полонского. Новосибирск: СибАК, 2012, с. 63 – 70.
13. Джафаров В.Д. Полиэтиленовые композиции наполненные цеолитом. Химические проблемы. 2005, № 3, с. 120 – 122.
14. Магеррамов А.М., Мамедова Р.Л., Исмаилов И.М., Багирбеков Х.В. Диэлектрические свойства нанокompозитов полипропилен/наноглин типа Na⁺-монтмориллонит в режиме нагрева-охлаждения. Журнал технической физики, 2017, т. 87, вып. 9, с. 1367 – 1370.
15. Гашимов А.М., Закиева И.Г. Диэлектрические параметры композита на основе обработанного электрическим разрядом природного цеолита. ЖТФ, 2017, т. 87, вып. 9, с. 1371 – 1375.
16. Курамшина З.Д., Галиханов М.Ф., Дебердеев Р.Я. Влияние цеолита на свойства полиэтилена низкого давления. Вестник Казанского технологического университета, 2012, т. 15, вып. 14, с. 40 – 41.
17. Ефименко И.С., Валенкевич В.А., Каницкая Л.В. Измерение диэлектрических потерь природных и синтетических цеолитов. Современные наукоемкие технологии, 2005, № 11, с. 40 – 41.
18. Вшивков С.А. Фазовые переходы полимерных систем во внешних полях. С.-Петербург: Изд. ЛАН, 2013, 368 с.
19. Сажин Б.И., Лобанов А.М., Романовская О.С. и др. Электрические свойства полимеров. Л.: Химия, 1986, 224 с.
- properties of metal-polymer composite materials based on based on zinc oxide nanoparticles stabilized in a polyethylene matrix high pressure]. *Pis'ma v zhurnal tekhnicheskoy fiziki — Technical Physics Letters*, 2008, vol. 34, iss. 19, pp. 73 – 78.
6. Chmutin I.A., Ryvkina N.G., Solovieva A.B., Kedrina N.F., Timofeeva V.A., Rozhkova N.N., McQueen D.N. Osobennosti elektricheskikh svoystv kompozitov s shungitovym napolnitelem [Features electrical properties of shungite composites Filler]. *Vysokomolekulyarnye Soedineniya, Seriya A — Polymer Science, Series A: Chemistry, Physics*, 2004, vol. 46, no. 6, pp. 1061 – 1070.
7. Dubnikova I.L., Kedrina N.F., Solovieva A.B. et al. Vliyanie prirody napolnitelya na kristallizatsiyu i mekhanicheskiye svoystva napolnennogo polipropilena [The influence of nature crystallization filler and mechanical properties filled polypropylene]. *Vysokomolekulyarnye Soedineniya, Seriya A — Polymer Science, Series A: Chemistry, Physics*, 2003, vol. 45, pp. 468 – 475.
8. Moskalyuk O.A., Aleshin A.N., Tsobkallo E.S., Krestinin A.V., Yudin V.E. Elektroprovodnost' polipropilenovykh volokon s dispersnymi uglerodnymi napolnitelyami [Electrical conductivity of dispersed carbon polypropylene fibers Fillers]. *Fizika Tverdogo Tela — Physics of the Solid State*, 2012, vol. 54, iss. 10, pp. 1993 – 1998.
9. Ul'zutuyev A.N., Ushakov N.M., Yurkov G.Yu., Kosobudskiy I.D. Teplovoy gisterezis dielektricheskikh svoystv kompozitov na osnove nanochastits oksidov i sul'fidov perekhodnykh metallov v matritse polietilena vysokogo davleniya. [The thermal hysteresis of the dielectric properties of composites based on nanoparticles of transition metal oxides and sulfides in a high-pressure polyethylene matrix]. *Pis'ma v zhurnal tekhnicheskoy fiziki — Technical Physics Letters*, 2009, vol. 35, iss. 10, pp. 80 – 86.
10. Maharramov AM. *Strukturnoye i radatsionnoye modifitsirovaniye elektretnykh, p'yezoelektricheskikh svoystv polimernykh kompozitov* [Structural and radiation modification of electret, piezoelectric properties of polymer composites]. Baku, Elm., Publ., 2001, 327 p.
11. Vannikov A.V., Matveev V.K., Sichkar V.P., Tyutnev A.P. *Radiatsionnyye efekty v polimerakh. Elektricheskkiye svoystva* [Radiation effects in polymers. Electrical properties], Moscow, Nauka Publ., 1982, 272 p.
12. Sokolova M.D., Davydova M.L., Shadrinov N.V. *Primeneniye prirodnykh tseolitov pri sozdanii morozostoykikh rezin uplotnitel'nogo naznacheniya*. [The use of natural zeolites in the creation of frost-resistant rubber for sealing purposes.] “Technical sciences — from theory to practice”: materials of the XIV international correspondence scientific and practical conference. October 10, 2012. Ed. Ya.A. Polonskiy. Novosibirsk: SibAK, 2012, pp. 63 – 70.
13. Dzhafarov V.D. Polietilenovyye kompozitsii napolnennyye tseolitom. [Filled polyethylene

References

1. Tanaka T. Dielectric nanocomposites with insulating properties. *IEEE Trans. Diel. Electr. Insul.*, 2005, vol. 12, no. 5, pp. 914 – 918.
2. Krishnamoorti R. Advanced polymer-nanocomposites: Novel properties and applications. *Chem. Mater.*, 2007, vol. 19, pp. 2736 – 2751.
3. Njugun J., Peilichowski K. Polymer nanocomposites for aerospace applications: fabrication. *Adv. Eng. Mater.*, 2004, no. 6, pp. 193 – 210.
4. Kozlov G.V. *Struktura i svoystva dispersno-napolnennykh polimernykh nanokompозитов* [The structure and properties of dispersion-filled polymer Nanocomposites]. *Uspehi Fizicheskikh Nauk — Physics-Uspekhi (Advances in Physical Sciences)*, 2015, vol. 185, no. 1, pp. 35 – 64.
5. Ulzutaev A.N., Ushakov N.M. *Issledovaniya temperaturnykh zavisimostey dielektricheskikh svoystv metallopolimernykh kompozitnykh materialov na osnove na osnove nanochastits oksida tsinka, stabilizirovannykh v matritse polietilena vysokogo davleniya* [Temperature dependence studies dielectric

- compositions zeolite]. *Chemical problems*. 2005, no. 3, pp. 120 – 122.
14. Maharramov A.M., Mamedova R.L., Ismailov I.M., Bagirbekov H.V., Dielektricheskiye svoystva nanokompazitov polipropilen/nanoglin tipa Na⁺-montmorillonit v rezhime nagreva-okhlazhdeniya [Dielectric properties of nanocomposites polypropylene/nanoclay type Na⁺-montmorillonite in heating-cooling mode]. *Zhurnal Tekhnicheskoy Fiziki — Technical Physics*, 2017, vol. 87, iss. 9, pp. 1367 – 1370.
 15. Gashimov A.M., Zakieva I.G., Dielektricheskiye parametry kompozita na osnove obrabotannogo elektricheskim razryadom prirodnogo tseolita/ [Dielectric parameters electrical treated composite discharge of natural zeolite]. *Zhurnal Tekhnicheskoy Fiziki — Technical Physics*, 2017, vol. 87, iss. 9, pp. 1371 – 1375.
 16. Kuramshina Z.D., Galikhanov M.F., Deberdeev R.Ya. Vliyaniye tseolita na svoystva polietilena nizkogo davleniya [The effect of zeolite on the properties of low pressure polyethylene]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta — Herald of Kazan Technological University*, 2012, vol. 15, iss. 14, pp. 40 – 41.
 17. Efimenko I.S., Valenkevich V.A., Kanitskaya L.V. Izmereniye dielektricheskikh poter' prirodnykh i sinteticheskikh tseolitov [Dielectric loss measurement of natural and synthetic zeolites]. *Sovremennye naukoymkiye tekhnologii — Modern high technologies*, 2005, no. 11, pp. 40 – 41.
 18. Vshivkov S.A. *Fazovyye perekhody polimernykh sistem vo vneshnikh polyakh* [Phase transitions of polymer systems in external fields]. St.-Petersburg, LAN Publ., 2013, 368 p.
 19. Sazhin B.I., Lobanov A.M., Romanovskaya O.S. et al. *Elektricheskiye svoystva polimerov* [Electrical properties of polymers]. Leningrad, Khimiya Publ., 1986, 224 p.

*Статья поступила в редакцию — 10.08.2019 г.
после доработки — 12.09.2019 г.
принята к публикации — 13.09.2019 г.*

Магеррамов Ариф Муса оглы — Институт радиационных проблем Национальной Академии Наук Азербайджана (AZ 1143, Азербайджан, г. Баку, ул. Б.Вахабзаде, 9), доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией, специалист по диэлектрической и термоактивационной спектроскопии, радиотермолюминесценции полимерных композиций, физической химии и радиационного материаловедения. E-mail: arifm50@yandex.ru.

Джафаров Валех Джаббар оглы — Институт полимерных материалов Национальной Академии Наук Азербайджана (AZ5004, Азербайджан, г. Сумгайыт, ул. С.Вургуна, 124), член-корреспондент Академии Наук Азербайджанской Республики, доктор химических наук, профессор, заведующий лабораторией, специалист в области химии макромолекул. E-mail: valeh_ani@mail.ru.

Байрамов Мазахир Насреддин оглы — Институт радиационных проблем Национальной Академии Наук Азербайджана (AZ1143, Азербайджан, г. Баку, ул. Б.Вахабзаде, 9), доктор философии по физике, старший научный сотрудник, специалист в области разработки композиционных материалов, а также нанокompозитов на основе эпоксидных смол, термопластов и магнитных нанонаполнителей, радиотермолюминесценции полимерных композиций и радиационного материаловедения. E-mail: m.bayratov51@mail.ru.

Алиев Наби Шамиад оглы — Институт радиационных проблем Национальной Академии Наук Азербайджана (AZ1143, Азербайджан, г. Баку, ул. Б.Вахабзаде, 9), доктор философии по физике, старший научный сотрудник, специалист по диэлектрической и термоактивационной спектроскопии, радиотермолюминесценции полимерных композиций, физической химии и радиационного материаловедения. E-mail: nabi.aliyev.1958@mail.ru.

Алханов Пярвиз Шакир оглы — Институт полимерных материалов Академии Наук Азербайджанской Республики (AZ5004, Азербайджан, г. Сумгайыт, ул. С.Вургуна, 124), диссертант, специализируется в области химии макромолекул. E-mail: valeh_ani@mail.ru.

Мусаева Гюльнара Гусейнхан гызы — Институт полимерных материалов Академии Наук Азербайджанской Республики (AZ5004, Азербайджан, г. Сумгайыт, ул. С. Вургун 124), инженер по специальности химия макромолекул. E-mail: valeh_ani@mail.ru.

Electrophysical properties of composites based on low density polyethylene and zeolite mineral

A. M. Maharramov, V. J. Dzhafarov, M. N. Bayramov, N. Sh. Aliyev,
P. Sh. Alkhanov, G. X. Musaeva

Dielectric parameters (ϵ' , $\text{tg}\delta$) and electrical conductivity (σ) of samples composites of 60 vol. % LDPE/40 vol. % zeolite, 40 vol. % LDPE/60 vol. % zeolite was measured at frequencies 25 – 10⁶ Hz and a temperature range 293 – 403 K. Composites based on a homogeneous mixture of LDPE with powdered natural zeolite (clinoptilolite and heilandite — Agdag deposit, Azerbaijan) were obtained in the form of film samples 140 – 200 microns and 20 mm in diameter, by hot pressing at a temperature of 403 – 413 K and a pressure of 15 MPa, followed by quenching in a mixture of ice-water. The temperature dependence of the electrophysical parameters of the samples of the composites revealed that the dielectric loss $\text{tg}\delta$ and electrical conductivity σ increase with increasing filler content, and this is due to an increase in the concentration of charge carriers and their mobility. The study of the frequency dependences $\epsilon' = f(\log\nu)$, $\text{tg}\delta = f(\log\nu)$ and $\log\sigma = f(\log\nu)$ showed the presence of two linear regions of the frequency dependences of the electrical conductivity, which vary according to the law $\sigma_{ac}(\nu) \sim \nu^{0.73}$, and this is more consistent with the hopping mechanism of the electrical conductivity of LDPE/zeolite composites.

Keywords: polyethylene, composite, zeolite, the real part of the dielectric constant, conductivity, temperature and frequency dependence, insulation, modification.

Maharramov Arif Musa — Institute of Radiation Problems of the National Academy of Sciences of Azerbaijan (Baku, Azerbaijan, AZ1143, Vakhbazadeh St., 9), Dr Sci (Phys-Math), professor; head of laboratory, specialist in dielectric and thermal activation spectroscopy, polymer thermoluminescence composition, physical chemistry and radiation materials science. E-mail: arifm50@yandex.ru.

Dzhafarov Valeh Dzabbar oglu — Institute of Polymer Materials of Azerbaijan National Academy of Sciences (Sumgayit city, Azerbaijan, AZ5004, S.Vurgun str.124), corresponding member of ANAS, Dr Sci (Chem), professor; head of laboratory, specialist in the field of chemistry of macromolecules. E-mail: valeh_ani@mail.ru.

Bayramov Mazagir Nasreddin — Institute of Radiation Problems of the National Academy of Sciences of Azerbaijan (Baku, Azerbaijan, AZ1143, B.Vahabzadeh St.,9), PhD in physics, senior researcher; specialist in the development of composite materials, nanocomposites based on epoxy resins, thermoplastics and magnetic nanofillers, radiothermoluminescence polymer compositions and radiation materials science. E-mail: m.bayramov51@mail.ru.

Aliyev Nabi Shamshad — Institute of Radiation Problems of the National Academy of Sciences of Azerbaijan (Baku, Azerbaijan, AZ1143, B.Vahabzadeh St.,9), PhD in physics, senior researcher; specialist in dielectric and thermal activation spectroscopy, polymer thermoluminescence composition, physical chemistry and radiation materials science. E-mail: nabi.aliyev.1958@mail.ru.

Alkanov Parviz Shakir oglu — Institute of Polymer Materials of Azerbaijan National Academy of Sciences (Sumgayit city, Azerbaijan, AZ5004, S.Vurgun Str.124), postgraduate student on specialty Chemistry of macromolecules. E-mail: valeh_ani@mail.ru.

Musayeva Gulnara Guseinkhan gizi — Institute of Polymer Materials of Azerbaijan National Academy of Sciences (Sumgayit city, Azerbaijan, AZ5004, S.Vurgun Str.124), engineer, specialist in chemistry of macromolecules. E-mail: valeh_ani@mail.ru.