

# ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РАДИАЦИОННО-ОБЛУЧЕННЫХ ПЛЕНОК АМОРФНЫХ ПОЛИМЕРОВ

В.Н. Гудь, Б.С. Колупаев, Е.В. Малиновский

*Ровенский государственный гуманитарный университет,  
ул. С. Бандеры, 12, г. Ровно, 33001, Украина, [Vovkchik@ukr.net](mailto:Vovkchik@ukr.net)*

Исследовано влияние радиационного облучения на диэлектрическую дисперсию и проводимость наиболее распространенных в промышленности линейных аморфных полимеров поливинилхлорида, полиметилметакрилата и полистирола. Облучение исходных образцов осуществляли при  $T = 25^{\circ}\text{C}$  источником излучения  $^{226}\text{Ra}$  на протяжении 45 суток. Ядра Ra-226 излучают альфа-частицы энергией 4,777 МэВ и гамма-кванты энергией 0,188 МэВ. Проведенные исследования позволяют утверждать, что изменение величин действительных частей комплексных диэлектрической проницаемости и удельной электропроводности материала зависит от типа полимера и дозы его облучения. Наиболее существенное влияние облучения на свойства системы наблюдается для полистирола.

УДК 539.16.04

## ВВЕДЕНИЕ

Одно из направлений использования полимеров в промышленности – в качестве электроизоляционных покрытий. В процессе эксплуатации они поддаются воздействию внешних факторов и в том числе радиационного облучения. Однако, несмотря на наличие теоретических [1–4] и экспериментальных работ [5–8], а также монографий [9, 10], вопрос влияния радиационного облучения на диэлектрические свойства полимерных материалов остается актуальным, поскольку композиты на их основе находят широкое применение в качестве защитных покрытий, элементов радиоэлектронной аппаратуры, различных датчиков контроля работы радиологических систем атомных реакторов. При этом на эксплуатационные свойства материалов влияют доза радиационного облучения, временной фактор, наличие ингредиентов различной физико-химической природы и содержания.

Особенно актуальным при создании новых диэлектрических материалов является изучение поведения композиционных материалов в радиационных полях. Цель настоящей работы состоит в получении и исследовании электрофизических свойств наиболее распространенных полимеров (поливинилхлорид, полиметилметакрилат, полистирол), которые служат основой для получения композиционных материалов, способных работать в экстремальных условиях действия радиационного облучения.

Исследовали наиболее распространенные в промышленности линейные аморфные полимеры [11], различающиеся по полярности, диэлектрической проницаемости, молекулярной массе, размерам и подвижности боковых групп [12]. Это порошкообразный поливинилхлорид (ПВХ) суспензионной полимеризации марки С – 6359 М производства ЗАО «Каустик», листовой полиметилметакрилат (ПММА) марки PLEXIGLAS GS Clear 0F00 производства Evonik Röhm GmbH и гранулированный полистирол (ПС) марки STYRON 678E производства Dow Chemical company.

## МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Образцы для исследований готовили в виде пленок толщиной 90–130 мкм и диаметром 25 мм методом прессования в  $T - p$  режиме при  $T > T_c$  и  $p = 10^7$  Па с последующим охлаждением под давлением до комнатной температуры со скоростью 3 град/мин.

Облучение исходных образцов осуществляли при  $T = 25^{\circ}\text{C}$  источником излучения  $^{226}\text{Ra}$  на протяжении 45 суток. Ядра Ra-226 излучают альфа-частицы энергией 4,777 МэВ и гамма-кванты энергией 0,188 МэВ [13].

Измерения электрофизических свойств образцов проводили с помощью моста Р 5083 в диапазоне частот  $10^2 - 10^5$  Гц, который был связан с измерительной ячейкой прижимными электродами [14]. С целью устранения влияния влажности окружающей среды делали это в ячейке, которую выдер-

живали в течение суток перед измерением над серной кислотой. Величину относительной влажности контролировали с помощью датчика НН-3610 фирмы Honeywell (погрешность измерения в диапазоне относительной влажности 0–100% составляет  $\pm 2\%$ , время отклика – 60 с). Использование трех-электродной схемы измерения позволило исключить вклад поверхностной составляющей проводимости образцов.

Диэлектрические свойства полимеров описывали согласно модели Максвелла. Величины действительных частей эффективных комплексных диэлектрической проницаемости  $\epsilon'_{eff}$  и электропроводности  $\sigma'_{eff}(f)$  образцов определяли из соотношений:

$$\epsilon'_{eff}(f) = \frac{C(f) \cdot l}{\epsilon_0 \cdot S}, \quad (1)$$

$$\sigma'_{eff}(f) = \frac{l}{R(f) \cdot S}, \quad (2)$$

где  $C(f)$  и  $R(f)$  – емкость и сопротивление образца на переменном токе при частоте  $f$  внешнего электрического поля,  $l$  и  $S$  – толщина и площадь поперечного сечения образца,  $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12}$  Ф/м – диэлектрическая постоянная.

Уровень влияния радиационного облучения на диэлектрические свойства облученных полимеров оценивали величинами относительного изменения действительных частей комплексных диэлектрической проницаемости и удельной электропроводности:

$$\delta\epsilon'_r(f) = \frac{\epsilon'_{eff\ r}(f) - \epsilon'_{eff}(f)}{\epsilon'_{eff}(f)}, \quad (3)$$

$$\delta\sigma'_r(f) = \frac{\sigma'_{eff\ r}(f) - \sigma'_{eff}(f)}{\sigma'_{eff}(f)}, \quad (4)$$

где  $\epsilon'_{eff\ r}(f)$  и  $\epsilon'_{eff}(f)$  – значения действительной части комплексной диэлектрической проницаемости облученного и исходного полимеров соответственно,  $\sigma'_{eff\ r}(f)$  и  $\sigma'_{eff}(f)$  – значения действительной части комплексной удельной электропроводности облученного и исходного полимеров соответственно.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате исследования исходных образцов получены типичные частотные зависимости относительной диэлектрической проницаемости для полимеров (рис. 1), что удовлетворительно согласуется с результатами других авторов [15, 16] в указанном диапазоне частот.

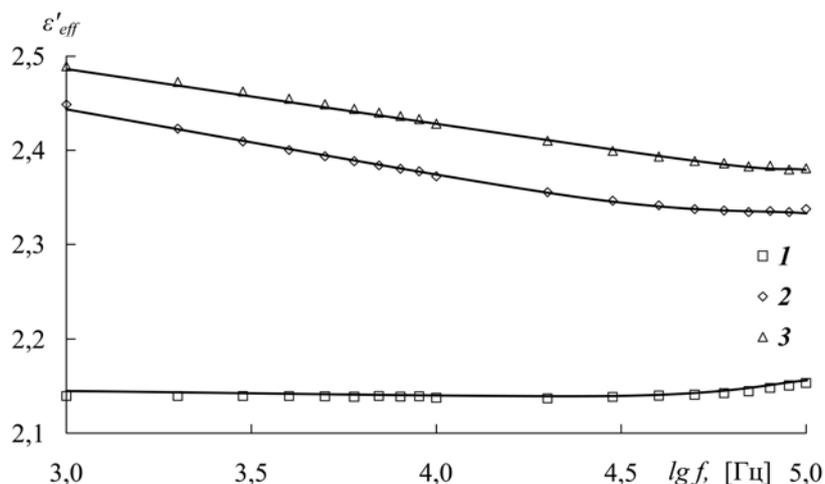


Рис. 1. Частотные зависимости действительной части комплексной диэлектрической проницаемости исходных полимеров: 1 – ПС; 2 – ПММА; 3 – ПВХ

Зависимость величины действительной части комплексной удельной электропроводности полимеров (рис. 2) в координатах  $\lg \sigma'_{eff}(\lg f)$  аналитически можно представить соотношением

$$\lg \sigma'_{eff}(f) = \lg \sigma'_{eff0} + k \lg f, \quad (5)$$

где  $\sigma'_{eff0}$  – удельная электропроводность полимера на "нулевой" частоте,  $k$  – параметр, определяющий величину дисперсии электропроводности.

Это позволяет путем экстраполяции  $\lg \sigma'_{eff}$  на "нулевую" частоту с помощью уравнения (5) получить значения удельной электропроводности полимеров при постоянном токе. Оказалось, что  $\lg \sigma'_{eff0}$  для ПС, ПВХ и ПММА равны соответственно -19.707, -11.697 и -11.103, что удовлетворительно согласуется с результатами других авторов [17].

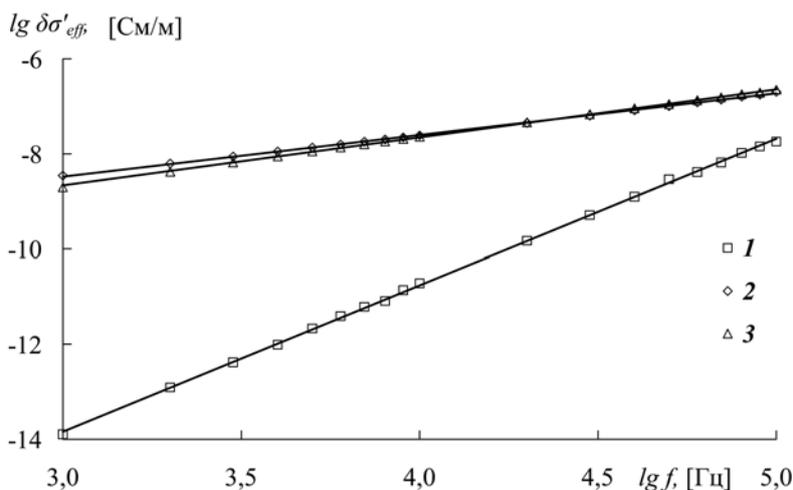


Рис. 2. Частотные зависимости действительной части комплексной электропроводности исходных полимеров: 1 – ПС; 2 – ПММА; 3 – ПВХ

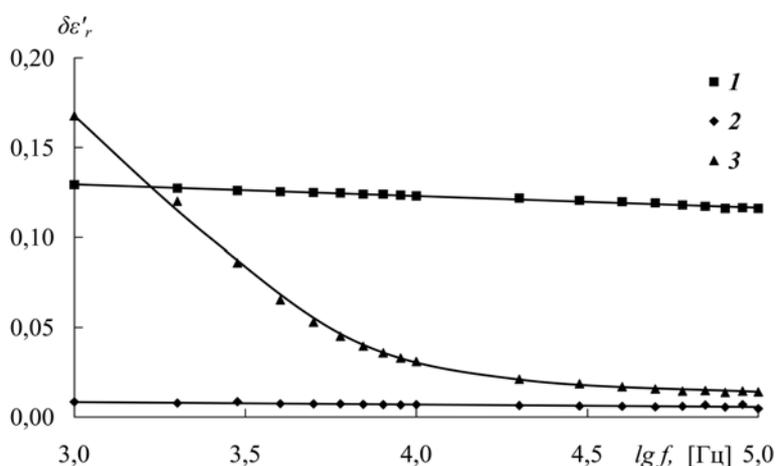


Рис. 3. Частотные зависимости изменения действительной части комплексной относительной диэлектрической проницаемости после облучения: 1 – ПС; 2 – ПММА; 3 – ПВХ

Результаты исследования изменения электрофизических свойств облученных полимеров представлены на рис. 3–4. Из которых следует, что больше всего изменяется величина действительной части комплексной диэлектрической проницаемости ПС, меньше всего – для ПММА. Высказано предположение, что обнаруженные эффекты обусловлены накоплением заряда на поверхности пленок. Резкое увеличение величины действительной части комплексной диэлектрической проницаемости ПВХ в области низких частот, очевидно, связано с Максвелл-Вагнеровскими потерями, обусловленными перемещением объемного заряда. Это позволяет предположить, что облучение ПВХ сопровождается увеличением электропроводности.

Вид зависимости  $\delta\sigma'_r(f)$  для ПВХ (рис. 4) подтверждает высказанное ранее предположение. В то же время для ПММА наблюдается незначительное увеличение величины действительной части комплексной удельной электропроводности. Наиболее интенсивные изменения наблюдаются в облученном ПС.

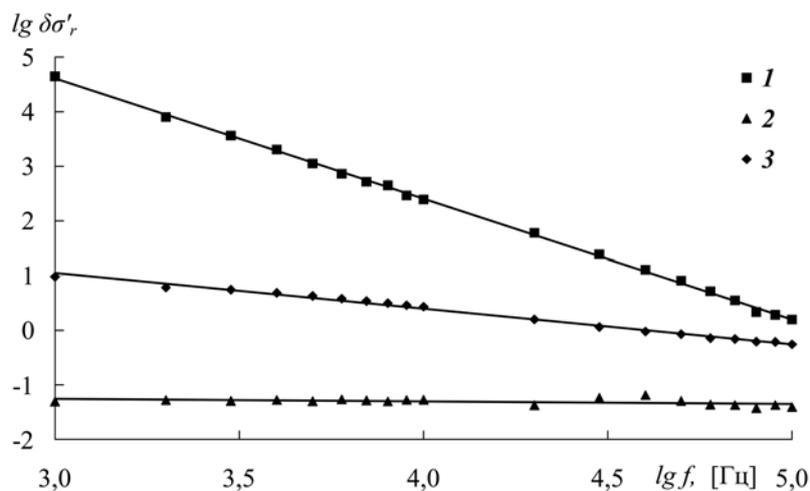


Рис. 4. Частотные зависимости изменения действительной части комплексной удельной электропроводности после облучения: 1 – ПС; 2 – ПММА; 3 – ПВХ

#### ВЫВОДЫ

Проведенные исследования позволяют утверждать, что изменение величин действительных частей комплексных диэлектрической проницаемости и удельной электропроводности материала зависит от типа полимера и дозы его облучения. Наиболее существенное влияние облучения альфа-частицами энергией 4,777 МэВ и гамма-квантами энергией 0,188 МэВ в течение 45 суток наблюдается для ПС. Частотные зависимости величин указывают на различную степень подвижности структурных элементов, подверженных действию радиационного облучения, которое является одним из наиболее эффективных модификаторов электрофизических свойств материалов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Тютнев А.П., Содовничий Д.Н., Кундина Ю.Ф., Саенко В.С., Пожидаев Е.Д. Бимолекулярная рекомбинация избыточных носителей заряда в полимерах. *Высокомолекулярные соединения*. 2001, **43**(9), 1578–1581.
2. Бомба А.Я., Колупаев Б.Б., Колупаев Б.С., Присяжнюк И.А., Роголя А.М., Лебедев Е.В. Влияние бета-излучения на электрические свойства ПВХ. *Пластические массы*. 2006, (2), 12–14.
3. Тютнев А.П., Ихсанов Р.Ш., Саенко В.С., Пожидаев Е.Д. Теоретический анализ модели Роуза-Фаулера-Вайсберга. *Высокомолекулярные соединения*. 2006, **48**(11), 2015–2022.
4. Колупаев Б.Б. Исследование радиационных эффектов, обусловленных взаимодействием  $\beta$ -излучения с поливинилхлоридом. *Инженерно-физический журнал*. 2007, **80**(1), 186–192.
5. Тютнев А.П., Саенко В.С., Пожидаев Е.Д., Колесников В.А. Подвижность носителей заряда в полиэтилене низкой плотности. *Высокомолекулярные соединения*. 2004, **46**(6), 1014–1022.
6. Klepko V.V., Kolupaev B.B., Lebedev E.V., Kolupaev B.S. Influence of  $\beta$ -Radiation on Acoustic Properties of Polyvinylchloride-based Heterogeneous Systems. *Ukrainian Journal of Physics*. 2008, **53**(10), 1012–1016.
7. Колупаев Б.Б., Клепко В.В., Лебедев Е.В., Колупаев Б.С. Фононная релаксация и внутреннее трение в гетерогенных системах на основе поливинилхлорида. *Высокомолекулярные соединения*, 2010, **52**(2), 249–253.
8. Тютнев А.П., Ихсанов Р.Ш., Саенко В.С., Пожидаев Е.Д. Особенности дырочного транспорта в молекулярно-допированном полистироле. *Высокомолекулярные соединения*. 2010, **52**(8), 1413–1419.
9. *Радиационная химия полимеров*. Под ред. акад. А.А. Каргина. М.: Наука, 1973. 376 с.
10. Тютнев А.П., Саенко В.С., Пожидаев Е.Д., Костюков Н.С. *Диэлектрические свойства полимеров в полях ионизирующих излучений*. М.: Наука, 2005. 456 с.
11. Клепко В.В., Колупаев Б.Б., Колупаев Б.С., Лебедев Е.В. Диссипация энергии и дефект модуля в гетерогенных системах на основе поливинилхлорида. *Высокомолекулярные соединения*. 2007, **49**(1), 135–139.

12. Тагер А.А. *Физико-химия полимеров*. М.: Химия, 1978. 536 с.
13. Вдовенко В. М., Дубасов Ю. В. *Аналитическая химия радия*. Л., 1973. 192 с.
14. Авакумова Н.И., Бударина Л.А., Дивгун С.М. и др. Под ред. В.Ф. Куренкова *Практикум по химии и физике полимеров*. М.: Химия, 1990. 304 с.
15. Сажин Б.И., Лобанов А.М., Романовская О.С., Эйдельмант М.П., Койков С.Н. Под ред. д-ра физ.-мат. наук Б.И. Сажина. *Электрические свойства полимеров*. Изд. 2-е, пер. Л.: Химия, 1977. 192 с.
16. Липатов Ю.С. *Физическая химия наполненных полимеров*. М.: Химия, 1977. 304 с.
17. *Химическая энциклопедия в 5-ти томах. Медиполимерные*. Т.3. М.: Большая российская энциклопедия, 1992. 572 с.

*Поступила 04.07.11  
После доработки 12.09.11*

### **Summary**

Radiation irradiation influence on the dielectric dispersion and conductivity of the widespread in the industry linear amorphous polymers: polyvinyl chloride, polymethyl methacrylate and polystyrene was explored. Irradiation of baseline models was realized under temperature  $T = 25^{\circ}\text{C}$  by irradiation source Ra-226 during 45 days. Nucleuses Ra-226 radiate alfa-fractions of energy 4.777 MeV and gamma-quantums of energy 0,188 MeV. The study proved that changing of real parts values of complex dielectric permeability and material specific electroconductivity depends on polymer type and dose of its irradiation. The most important influence of irradiation on the systems characteristics is observing for polystyrene.

---