

УДК 533.275.08:543.712.08

ЭЛЕКТРОЕМКОСТНОЙ КОНТРОЛЬ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ

ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ

В. И. ЗУБКО, Д. В. ЗУБКО, Г. Н. СИЦКО

Белорусский государственный университет
Минск, Беларусь

UDC 533.275.08:543.712.08

ELECTROELASTIC CONTROL ELECTRIC PROPERTIES OF POLYMER COMPOSITES

V. I. ZUBKO, D. V. ZUBKO, G. N. SITSKO

Аннотация

Разработаны новые композиты, в которых в качестве связующего использован переработанный вторичный полиэтилен, а наполнителями служат порошкообразное углеродное волокно или порошкообразная резина. Разработан электроемкостной метод и исследованы электрические свойства композитов в зависимости от содержания и типа наполнителя в диапазоне частот электрического поля 50 Гц–1 МГц.

Ключевые слова:

электроемкостной метод, полимерный композит, вторичный полиэтилен, порошкообразное углеродное волокно, порошкообразная резина.

Abstract

Developed new composites in which the binder used secondary recycled polyethylene, while the fillers are powdered carbon fiber or powdered rubber. Developed electroelastic method and investigated the electrical properties of composites depending on the content and type of filler in the frequency range of the electric field of 50 Hz–1 MHz.

Key words:

electroelastic method, polymer composite, secondary polyethylene, powdered carbon fiber, powdered rubber.

По прогнозам Конференции ООН по окружающей среде и развитию (Рио-де-Жанейро, 1992) объем твердых отходов к 2025 г. вырастет в 4–5 раз. В настоящее время в мире скопилось около 100 млн. тонн автопокрышек, отработавших свой ресурс. Автопокрышки, вышедшие из эксплуатации, являются одними из самых многотоннажных полимерных отходов потребления. Только в странах ЕС их количество превышает 30 млн т. При этом уровень их вторичного использования не превышает 5 % [1].

В то же время переработанная резина может быть использована в качестве токопроводящего наполнителя для получения новых полимерных композитов с заданными электропроводящими свойствами. В 2008 г. объемы пластиковых отходов в Западной Европе составили 24,9 млн т.

Опыт стран ЕС по контролю за образованием отходов показал, что между ростом валового внутреннего продукта (ВВП) и ростом отходов существует прямая зависимость [2, 3]. Увеличение объема твёрдых отходов в мире делает актуальной задачу их использования для производства новой продукции. Получение композитов на основе переработанных полимерных отходов с различными наполнителями, открывает перспективу использования их в электротехнической промышленности в качестве электроизоляционных либо электропроводящих материалов. При этом эти материалы будут значительно дешевле, чем материалы на основе первичных полимеров, например, первичный полиэтилен [3].

Применение ЭМ контроля электрических свойств полимерных композитов совместно с традиционными испытаниями позволяет повысить достоверность диагностики при комплексном обследовании высоковольтного электрооборудования.

Разработка электроемкостного метода (ЭМ) контроля и диагностики электрических свойств полимерных композитов (ПК) на основе вторичного полиэтилена (ВПЭ) обусловлена необходимостью их тестирования на соответствие комплекса их диэлектрических показателей, таких как: относительная диэлектрическая проницаемость (ϵ'); удельная электрическая проводимость (σ); тангенс угла диэлектрических потерь ($\tan \delta$) нормам, регламентированным стандартами. О необходимости проведения испытаний ПК на диэлектрические показатели подтверждают ГОСТы 22372-77, 20437-89, 982-80, 6581-75.

В результате проведенных исследований установлено, что параллельная эквивалентная схема конденсатора, заполненного материалом, с потерями более адекватно отражает реальные электрические свойства материала в сравнении с последовательной эквивалентной схемой. На рис. 1 представлена параллельная эквивалентная схема конденсатора, заполненного материалом с потерями.

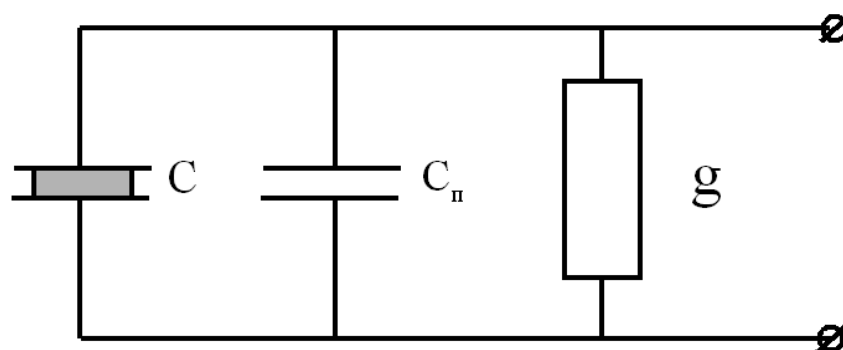


Рис. 1. Параллельная эквивалентная схема конденсатора, заполненного материалом с потерями: g – активная электрическая проводимость материала с потерями; $C_{п}$ – «паразитная» электроемкость конденсатора; $C = C_0 \epsilon'$ – электроемкость конденсатора, заполненного материалом с потерями; C_0 – геометрическая емкость конденсатора; ϵ' – относительная диэлектрическая проницаемость материала

На основе анализа параллельной эквивалентной схемы получены формулы для определения электрических показателей, таких как: ε' , $\operatorname{tg} \delta$, σ полимерных композитов в диапазоне частот 100 Гц–1 МГц [4].

$$\varepsilon' = \frac{1}{\omega_0} \left(\frac{\sin |\varphi|}{z} - \frac{1}{z_0} \right) + 1, \quad (1)$$

$$\sigma = \frac{\varepsilon_0 \cos |\varphi|}{z}, \quad (2)$$

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{\cos |\varphi|}{z \omega \varepsilon' c_0}, \quad (3)$$

где z_0 – полное сопротивление конденсатора без материала; z – полное сопротивление конденсатора с материалом; φ – угол сдвига фаз между током и напряжением; $\varepsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12}$ Ф/м – электрическая постоянная.

С учетом краевых эффектов электродов из уравнения (1) получена формула определения геометрической емкости измерительного пространства конденсатора:

$$c_0 = \frac{1}{\omega(\varepsilon_1 - 1)} \left(\frac{\sin \varphi_1}{z_1} - \frac{1}{z_0} \right), \quad (4)$$

где ε_1 – относительная диэлектрическая проницаемость эталонной пластины; φ_1 – угол сдвига фаз между током и напряжением при заполнении конденсатора эталонной пластиной; z_1 – полное сопротивление конденсатора с эталонной пластиной.

На рис. 2 показана фотография разработанного электроемкостного преобразователя контроля и диагностики комплекса диэлектрических свойств композитов [5].

Конструкция электроемкостного преобразователя для определения диэлектрических показателей композиционных материалов по сравнению с известными аналогами [6–8] обладает следующими преимуществами:

1) получение информации о комплексе величин диэлектрических показателей (относительной диэлектрической проницаемости, тангенса угла диэлектрических потерь, удельного объемного электрического сопротивления) ПМ в диапазоне частот 100 Гц–1 МГц;

2) обеспечение высокой степени параллельности между двумя электродами;

3) определение толщины пластин от 0,1 до 6,0 мм непосредственно в измерительном пространстве с точностью 0,005 мм;

4) обеспечение однородного электрического поля в контролируемом пластинчатом изоляционном материале в диапазоне частот электрического тока 100 Гц–1 МГц;

5) малая величина диэлектрических потерь ячейки $1,8 \cdot 10^{-5}$;

6) высокое сопротивление изоляции прокладки 10^{16} – 10^{17} Ом.

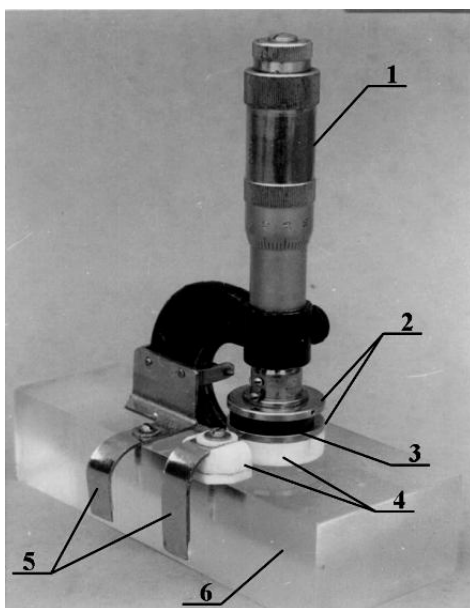


Рис. 2. Электроемкостной преобразователь контроля комплекса электрических свойств полимерных композитов: 1 – микрометрическое устройство; 2 – дисковые электроды; 3 – измерительное пространство; 4 – фторопластовые прокладки; 5 – съемные контакты; 6 – основание из оргстекла

На рис. 3 показана фотография созданной экспериментальной установки контроля комплекса электрических свойств композитов.

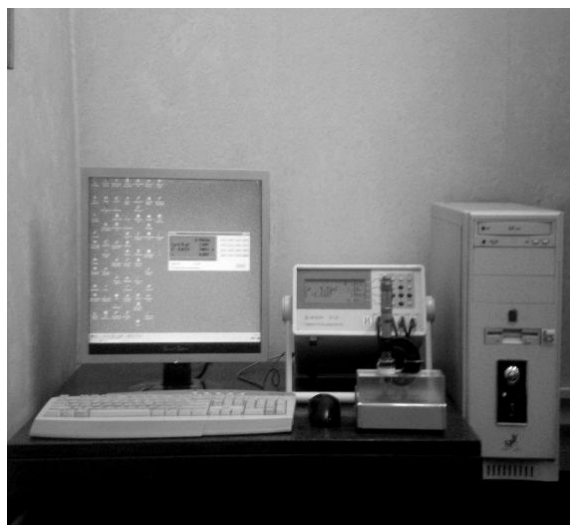


Рис. 3. Экспериментальная установка контроля комплекса электрических свойств полимерных композитов: высокочувствительный электроемкостной преобразователь; измеритель иммитанса; персональный компьютер

Технология получения композитов на основе вторичного полиэтилена (ВПЭ), в которых наполнителем служит ПУВ, состоит в следующем. На обогреваемые микровальцы помещают при температуре 115–120 °С определенное количество ВПЭ в виде дробленки, к ней добавляют порциями ПУВ, далее смесь перемешивают в течение 5–7 мин до получения однородной массы. В результате из вальцевого полотна методом прессования

на электрообогреваемом прессе при 160–170 °С в течение 15–20 мин формируется пластина композита с заданными размерами [9]. Аналогичные операции проводятся при использовании в качестве наполнителя ПР [10].

Результаты исследований показали характерное повышение удельной электрической проводимости композитов на основе ВПЭ с возрастанием частоты, при различном содержании ПУВ (рис. 4).

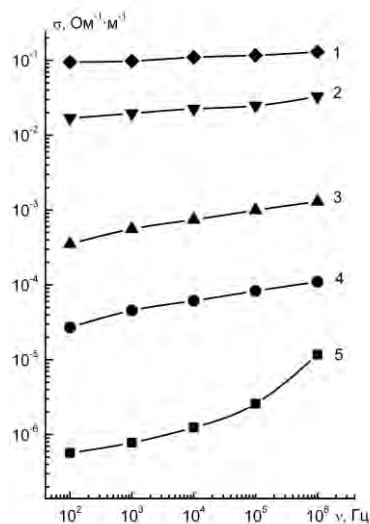


Рис. 4. Зависимость удельной электрической проводимости композитов на основе ВПЭ от частоты электрического тока ($t = 20$ °С): изменение σ при ПУВ/ВПЭ = 50(1), 40(2), 30(3), 20(4) и 10 мас. % (5)

Из рис. 5 видно, что при увеличении содержания ПУВ в композите от 20 до 50 % значительные изменения на частоте 1 МГц претерпевает величина σ , повышается на 4 порядка: от 10^{-5} до 10^{-1} Ом $^{-1}$ ·м $^{-1}$ [9].

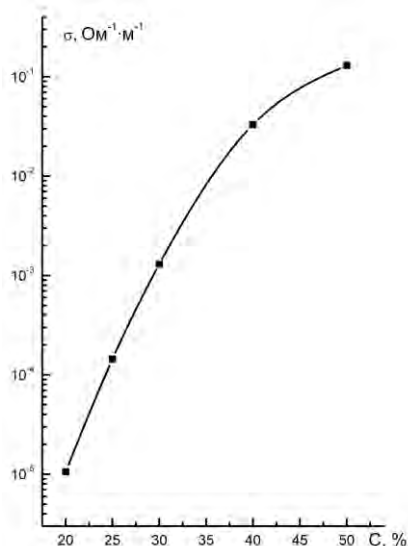


Рис. 5. Зависимость удельной электрической проводимости композитов на основе ВПЭ от содержания ПУВ. Частота, на которой проводили измерения составляла 1 МГц

Исследовано влияние содержания ПР на диэлектрических свойств композитов на основе ВПЭ. Из рис. 6, 7 видны характерные понижения величин ε и $\operatorname{tg} \delta$ и возрастание значений σ композитов с увеличением частоты электрического тока.

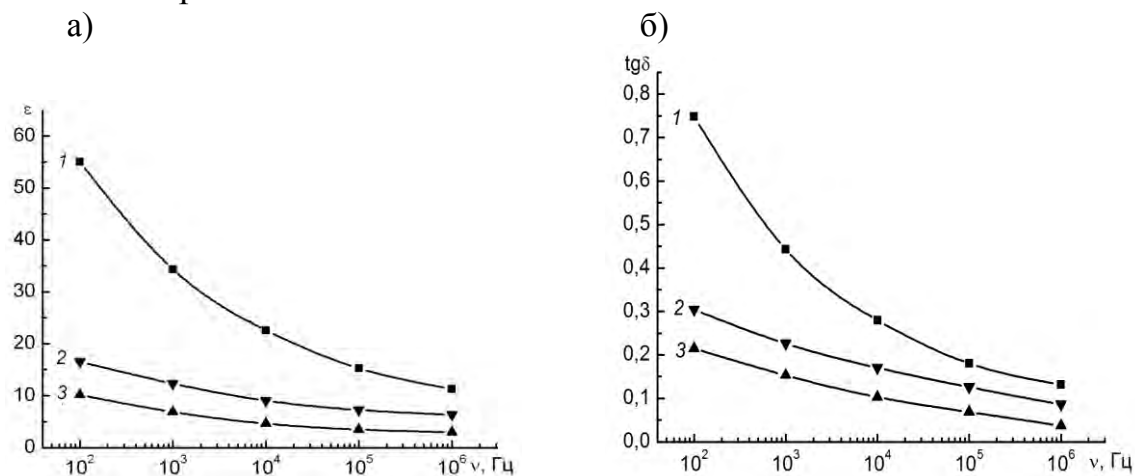


Рис. 6. Зависимость относительной диэлектрической проницаемости (а) и тангенса угла диэлектрических потерь (б) композитов на основе ВПЭ от частоты электрического тока при различном содержании ПР ($t = 20$ °С): 1–85 мас.%; 2–50 мас.%; 3–25 мас.%

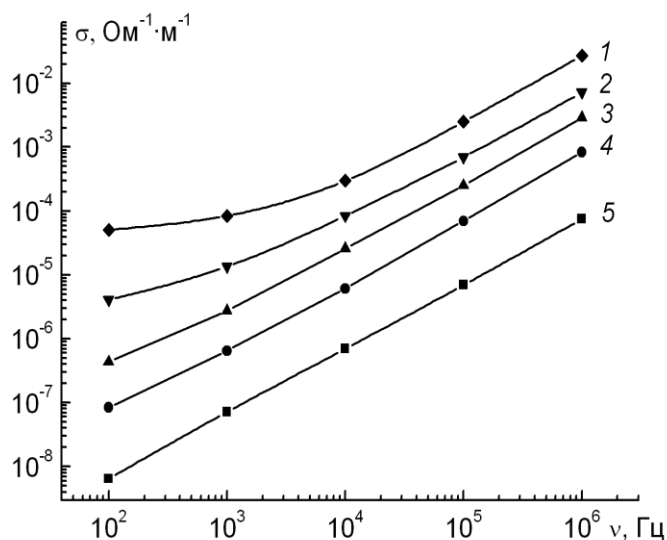


Рис. 7. Зависимость удельной электрической проводимости композитов на основе ВПЭ от частоты электрического поля при различном содержании ПР ($t=20$ °С): 85(1); 70(2); 60(3); 50(4) и 25 мас. % (5)

Из рис. 8 видно, что удельная электрическая проводимость при повышении содержания ПР в композите от 30 до 85 мас.% на частоте 1 МГц возрастает примерно на 3 порядка: от 10⁻⁵ до 10⁻² Ом⁻¹·м⁻¹ [9].

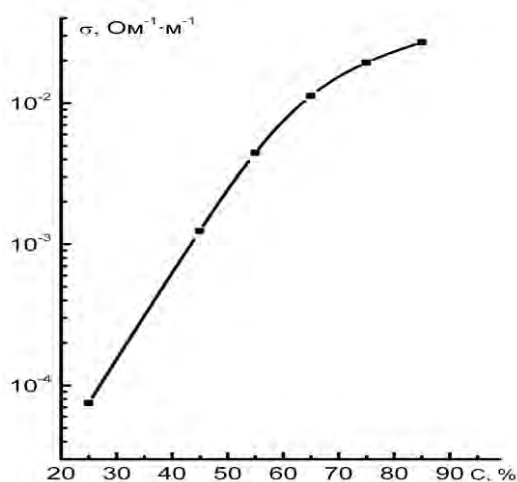


Рис. 8. Зависимость удельной электрической проводимости композитов на основе ВПЭ от содержания ПР. Частота, на которой проводили измерения составляла 1 МГц

Таким образом, разработан электроемкостной метод и исследованы электрические свойства новых полимерных композитов на основе переработанного вторичного полиэтилена в зависимости от содержания и типа наполнителя в диапазоне частот 100 Гц–1 МГц.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. <http://giprocement.ru/about/articles.html/p=6>
2. <http://www.solidwaste.ru/publ/view/341.html>
3. <http://www.plastinfo.ru/information/articles/283/page2/>
4. **Зубко, В. И.** Импедансный метод контроля и диагностики качества электроизоляционных материалов, используемых в электротехнической промышленности / В. И. Зубко, Д. В. Зубко, Г. Н. Сицко // Изв. НАН Беларуси. – Сер. физ.- техн. наук. – 2016. – №3. – С. 21–26.
5. **Пат. на полезную модель №9001 Республика Беларусь.** Устройство для измерения электрических свойств полимерных композиций / Д. В. Зубко, В. И. Зубко. – № u 20120669 ; заявл. 07.10.12 ; опубл. 28.03.13.
6. **Матис, И. Г.** Электроемкостные преобразователи для неразрушающего контроля / И. Г. Матис. – Рига : Зинатне, 1982. – 302 с.
7. **Бугров, А. В.** Высокочастотные емкостные преобразователи и приборы контроля качества / А. В. Бугров. – М. : Машиностроение, 1984. – 94 с.
8. **Джексон, Р. Г.** Новейшие датчики / Р. Г. Джексон. – М. : Техносфера, 2007. – 384 с.
9. **Пат. на изобретение № 11018 Республика Беларусь.** Электропроводящая полимерная композиция / Д. В. Зубко, В. И. Зубко. – № а 20070558 ; заявл. 14.05.07 ; опубл. 30.08.08.
10. **Пат. на изобретение № 13803 Республика Беларусь.** Электропроводящая полимерная композиция / Д. В. Зубко, В. И. Зубко. – № а 20081339 ; заявл. 23.10.08 ; опубл. 30.12.10.