

*Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції 14–15 травня 2020 року  
«Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій», Тернопіль, Україна*

**УДК 667.64:678.026**

**С.О. Сметанкін, К.Ю. Юренін, В.Л. Алексенко**  
Херсонська державна морська академія, Україна

## **ДИЕЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЕПОКСИДНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ НАПОВНЕНИХ НАНОДИСПЕРСНОЮ САЖЕЮ**

**S. Smetankin, K. Yurenin, V. Aleksenko, Ph.D.**

### **DIELECTRIC PROPERTIES OF EPOXY COMPOSITE MATERIALS FILLED WITH CARBON BLACK NANOPOWDER**

На сьогодні полімерні композиційні матеріали є об'єктом інтенсивних досліджень. Авторами [1-3] особливої уваги відведено дослідженню електрофізичних властивостей матеріалів. Традиційно, полімери вважаються електрично ізоляційними матеріалами через низьку концентрацію у їх складі вільних носіїв заряду. Однак електричні характеристики полімерів можуть бути поліпшені шляхом включення до їх складу електропровідного наповнювача. Отримані, таким чином, електропровідні полімерні композити поєднують у собі поліпшені механічні властивості та простоту переробки з унікальними електричними властивостями провідних частинок. Полімерні композити, які містять електропровідний наповнювач мають великий потенціал для застосування в різних областях, наприклад, створення різноманітних сенсорів, антистатичного екранування, захист від електромагнітного випромінювання, а також в електроніці та аерокосмічній промисловості. Для виготовлення полімерних матеріалів з поліпшеними фізико-механічними та електропровідними властивостями переважно використовують вуглецеві наповнювачі, такі як вуглецеві нанотрубки, фулерени, графен, вуглецеві волокна та нанопорошки активованого вугілля. Для створення полімерних матеріалів із високою діелектричною проникністю перспективним є використання технічної сажі як наповнювача. На відміну від керамічних наповнювачів, які традиційно використовуються для створення полімерних матеріалів із високою діелектричною проникністю, використання сажі поліпшує механічні властивості таких матеріалів та дозволяє розширити область їх застосування. Для забезпечення частотної інваріантності та високих значень діелектричної проникності доцільно використовувати частинки наповнювача із перехідною структурою, щоб створити мінімальний градієнт властивостей між наповнювачем та полімерною матрицею. Цим вимогам відповідають частинки нанодисперсної сажі, які мають структуру типу «ядро-оболонка», де ядром є вуглець, а оболонкою – різні функціональні групи, які розташовані на поверхні частинки. Даний наповнювач має відносно невелику електропровідність, що робить перспективним їх використання для створення матеріалів із високою діелектричною проникністю.

Саме тому, **метою даної роботи** є – вивчення впливу концентрації нанодисперсної сажі на діелектричні властивості епоксидних композиційних систем та оцінка перспективності даних систем для створення матеріалів із високою діелектричною проникністю.

**Методика дослідження.** Основним компонентом для зв'язувача при формуванні полімерних матеріалів вибрано епоксидний діановий олігомер марки ЕД-20 (ГОСТ 10587-84), який зшивали твердником поліетиленполіаміном (ПЕПА) (ТУ 6-05-241-202-78). В якості наповнювача використовувалась нанодисперсна сажа CARBON BLACK марки PowCarbon 2419G (CAS No.: 1333-86-4, EINECS No.: 215-609-9) виготовлена компанією «Black Diamond Material Science Co., Ltd.», Китай. Розмір частинок порошку встановлено за допомогою методу електронної мікроскопії який становить  $24 \pm 2$  нм.

Питома площа поверхні частинок становить  $145 \pm 20$  м<sup>2</sup>/г. Наповнювач нанодисперсному сажу (НДС) вводили в кількості від 0,1 до 29,00 мас. % (далі %).

Дослідження впливу кількості НДС в епоксидному олігомері на діелектричну проникність показали, що дійсна частина діелектричної проникності ( $\epsilon'$ ) композиційних матеріалів практично постійна в широкому діапазоні частот. Такий ефект, ймовірно, пов'язаний із структурою частинок НДС, які мають вуглецеве ядро та оболонку із різних функціональних груп на поверхні, при цьому створюється мінімальний градієнт діелектричної проникності між матрицею та наповнювачем. Паралельно встановлено, що підвищенням концентрації нанодобавки, до максимального значення (29 %), в епоксидний зв'язувач, показники дійсної діелектричної проникності різко збільшуються. Вважали, що таке різке зростання функції  $\epsilon'(\varphi)$  зі зростанням вмісту наповнювача у системі пояснюється формуванням у полімерній матриці розгалуженого кластера із частинок наносажі. Важливу роль у зростанні діелектричної проникності відіграє Maxwell-Wagner-Sillars (MWS)-поляризація, яка викликана мережею розгалужених електропровідних кластерів із частинок сажі, які ще не утворили перколяційний кластер. До порогу перколяції, відстань між частинками НДС недостатня, а також для перескоку зарядів або для їх тунелювання. При накладанні зовнішнього електричного поля, на поверхнях сусідніх частинок НДС, які розділені непровідною полімерною матрицею, накопичуються протилежні за знаком заряди. При цьому по всьому об'єму нанопоповненої системи утворюються велика кількість маленьких конденсаторів, які роблять значний вклад у діелектричну проникність систем.

Варто відмітити, що при вмісту наповнювача 29 %, отриманий матеріал характеризується високим значенням діелектричної проникності, яка у частотному інтервалі від 100 Гц до 100 кГц варіюється від 4680 до 4000. Такі значення є вищими за значення отримані для аналогічних систем. Наприклад, Macutkevic та ін. для системи епоксид-сажа отримали максимальне значення = 100 [1], Abdelaziz та ін. для системи полікарбонат-наносажі отримали = 250 [2], а Xu та ін. для системи епоксидна смола-сажа отримали = 2300 [3].

У результаті проведеної роботи було встановлено вплив нанодисперсної сажі на діелектричні властивості полімерних композитних систем на основі епоксидної смоли та вивчено особливості діелектричної проникності досліджуваних матеріалів. Показано, що діелектрична проникність систем епоксид-наносажі майже не змінюється у частотному діапазоні  $10^2$ – $10^5$  Гц, що пов'язано зі структурними особливостями частинок наповнювача, які забезпечують існування мінімального градієнту діелектричної проникності між матрицею та наповнювачем. Виявлено, що при вмісту наповнювача 29%, отриманий матеріал характеризується високим значенням діелектричної проникності, яка становить 4680. Отже, відносна частотна інваріантність діелектричної проникності та її високе значення дозволяє використовувати отримані системи як матеріали із високою діелектричною проникністю для електротехнічних приладів.

### Література

1. Macutkevic, J., Kuzhir, P., Paddubskaya, A., Maksimenko, S., Banys, J., Celzard, A., Bellucci, S. (2013). Electrical transport in carbon black-epoxy resin composites at different temperatures. *Journal of Applied Physics*, 114(3), 033707. doi:10.1063/1.4815870
2. Abdelaziz, M. (2013). The effects of carbon nanoparticles on thermal and dielectric properties of bisphenol A polycarbonate. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 28(7), 1026–1046. doi:10.1177/0892705713495436
3. Jianwen Xu, Wong, M., & Wong, C. P. (n.d.). Super high dielectric constant carbon black-filled polymer composites as integral capacitor dielectrics. 2004 Proceedings. 54th Electronic Components and Technology Conference (IEEE Cat. No.04CH37546). doi:10.1109/ectc.2004.1319391.