

**Влияние содержания проводящего наполнителя на эффективную диэлектрическую проницаемость композитов на основе матрицы из полиэтилена высокой плотности**

**Игонченкова Кристина Евгеньевна**

*Аспирант*

Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, Институт физики и химии,  
Саранск, Россия

*E-mail: kristinaigoncenkova@gmail.com*

Изучению физических свойств полимерных композитов, наполненных мелкодисперсными частицами электропроводящих материалов, в том числе частицами технического углерода, посвящено большое количество работ [1,2]. В данной работе приведены результаты исследований зависимости значений эффективной диэлектрической проницаемости  $\epsilon'$  и тангенса угла диэлектрических потерь  $\text{tg}\delta$  от содержания  $\nu$  технического углерода (ТУ) марки С40 в композите на основе матрицы из полиэтилена высокой плотности (HDPE). Образцы получали путем смешивания в расплаве с помощью лабораторного экструдера EX-30. Затем, путем прессования получали пластины, размерами 150 на 150 мм и толщиной 1-1,5 мм, из которых затем вырезались диски диаметром 20 мм. Для определения диэлектрической проницаемости был использован конденсаторный метод. Измерения емкости производили с помощью измерителя иммитанса Е7-20 в комплекте с измерительной ячейкой с круглыми электродами диаметром 20 мм и толщиной 1,5 мм.

Определение диэлектрической проницаемости полупроводящих материалов является непростой задачей, особенно, когда в образце возникает сквозная проводимость. В данной работе емкость  $C$ , по значениям которой определялась  $\epsilon'$ , измерялась по трем схемам: первый вариант – при непосредственном контакте электродов с образцом; во втором варианте, для исключения влияния тока сквозной проводимости, между образцом и каждым из электродов конденсатора помещались тонкие, толщиной 15  $\mu\text{m}$ , изолирующие пленки из полиэтилентерефталата или две такие же пленки, сложенные вместе и помещенные лишь с одной стороны образца (вариант 3). Подобная конфигурация расположения имеет место при функционировании электропроводящей композитной экранной оболочки высоковольтного кабеля, где она находится между токоведущим проводником и изоляционным слоем. Для второго и третьего вариантов измерений, емкость конденсатора с образцом и изолирующими пленками рассматривалась как емкость двух последовательно соединенных конденсаторов [3].

На рис.1 представлены концентрационные зависимости эффективной диэлектрической проницаемости на частотах 50 Hz, 1 kHz и 1 MHz для трех вариантов измерений. Видно, что с увеличением  $\nu$  происходит возрастание  $\epsilon'$ , при этом зависимость  $\epsilon'(\nu)$  является не линейной, а имеет более резкий характер. Такое поведение зависимости эффективной диэлектрической проницаемости коррелирует с характером зависимости проводимости от концентрации. При увеличении  $\nu$  от 0 до 15% ТУ значения  $\epsilon'$  для всех трех вариантов измерений практически совпадают. Увеличение  $\nu$  с 15% до 20%, приводит во всех вариантах измерений к резкому, примерно на порядок, возрастанию  $\epsilon'$ . При этом, столь же резко, возрастают значения  $\text{tg}\delta$ , и также для всех вариантов измерений, а во втором и третьем вариантах наблюдается максимум. Увеличение содержания ТУ до 25% приводит к дальнейшему росту  $\epsilon'$ , а после этого резкое возрастание  $\epsilon'$  прекращается и зависимость  $\epsilon'(\nu)$  выходит практически на плато. Значения  $\text{tg}\delta$  для второго и третьего вариантов измерений уменьшаются, причем на частоте 50 Hz и 1kHz до значений, ниже или примерно

соответствующих значениям  $\text{tg}\delta$  для концентраций 0-15%. На частоте  $f = 1\text{MHz}$  во втором и третьем вариантах измерений, также происходит уменьшение  $\text{tg}\delta$ , хотя и не такое заметное как на частотах 50 Hz и 1kHz. Наблюдающееся при концентрации 20% ТУ, близкой к точке перколяции, резкое возрастание потерь и возникновение максимума  $\text{tg}\delta$  может быть связано с тем, что доминирующим становится механизм проводимости, обусловленный полевой эмиссией электронов с поверхности частиц технического углерода с последующим туннелированием. В результате проводимость возрастает на 5, и более, порядков. Это, в свою очередь, может сопровождаться особой спецификой процессов рассеяния энергии, приводящей к возрастанию потерь.

### Источники и литература

- 1) Э.Р. Блайт, Д. Блур, Электрические свойства полимеров (Физматлит, М., 2008).
- 2) Б.И. Заднепровский, И.Ю. Ключев, В.Е. Турков, Письма в ЖТФ, 42 (16), 87 (2016).
- 3) А.М. Зюзин, К.Е. Игонченкова, ФТТ, 67 (10), 1884 (2025). DOI: 10.61011/FTT.2025.10.61966.230-25

### Иллюстрации

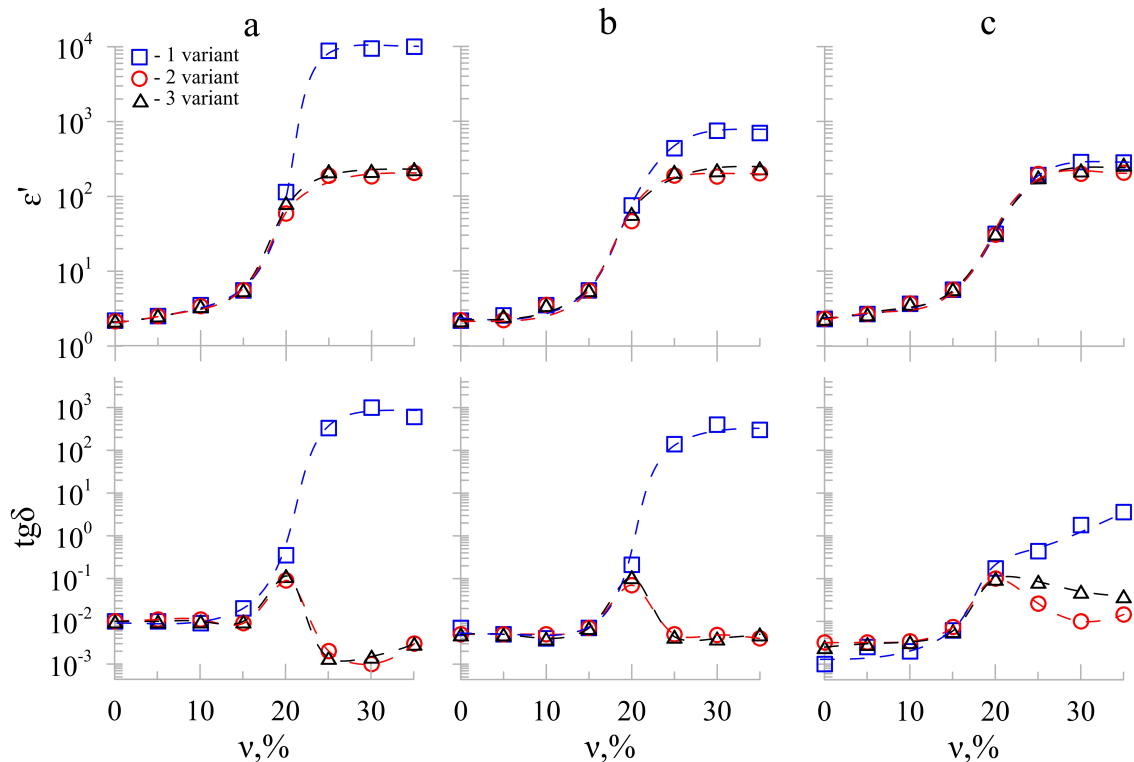


Рис. : Зависимость  $\epsilon'$  и  $\text{tg}\delta$  от содержания  $\nu$  технического углерода для трех вариантов измерений на частотах: а – 50 Hz, б -10 kHz и с - 10 MHz.