

**Абед Нодира, Негматов Сайибжан,
Шамсиева Сабохат**
(Государственное учреждение «Фан ва тараккият»
при ГТУ им. И Каримова)

ВЛИЯНИЕ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ СИСТЕМ

***Аннотация.** В работе представлены результаты исследований влияния органо-минеральных и электропроводящих наполнителей на формирование электрофизических и механических свойств композиционных полимерных систем на основе эпоксидного олигомера ЭД-16. Показано, что введение различных наполнителей способствует образованию многофазной гетерогенной структуры, свойства которой определяются природой, дисперсностью и концентрацией компонентов. Наиболее значительное снижение электрического сопротивления наблюдается при использовании электропроводящих наполнителей — сажи, графита и металлических порошков, тогда как минеральные наполнители проявляют стабилизирующее действие, улучшая диэлектрические характеристики.*

Развитие современного машиностроения и электротехнических отраслей требует создания композиционных полимерных материалов с управляемыми электрофизическими и механическими характеристиками. Одним из эффективных направлений является модифицирование эпоксидных олигомеров органо-минеральными и электропроводящими наполнителями, позволяющими регулировать электропроводность, теплостойкость и прочность материалов.

Эпоксидные смолы обладают высокой адгезией и химической стойкостью, но характеризуются относительно низкой электропроводностью и ударной вязкостью. Введение наполнителей позволяет устранить эти недостатки, обеспечивая сочетание свойств, необходимых для эксплуатации покрытий в условиях электрических и тепловых нагрузок.

Добавление наполнителей в эпоксидную матрицу ЭД-16 приводит к формированию многофазной гетерогенной системы, в которой межфазное взаимодействие играет ключевую роль в изменении электрофизических характеристик. Поверхностные явления, такие как адсорбция полимерных цепей на поверхности частиц, влияют на перераспределение связей в полимерной сетке и образование проводящих каналов.

Исследования показали, что эффективность наполнителя определяется не только его проводимостью, но и адсорбционной активностью, формой частиц и равномерностью распределения в объёме. При использовании электропроводящих наполнителей (сажи, графита, металлических порошков) происходит резкое снижение объёмного (ρ_v) и поверхностного (ρ_s) электрического сопротивления.

Таблица – Тенденции изменения электрофизических свойств композиций ЭД-16 при увеличении концентрации наполнителей

Наполнитель	Концентрация, мас.ч.	ρ_v , Ом·см	ρ_s , Ом·см	ε (f=1 кГц)	$\text{tg}\delta \cdot 10^2$
Сажа	0–5	$1 \cdot 10^{15}$	$6 \cdot 10^{15}$	4.6	2.6
Сажа	20	$2 \cdot 10^6$	$4 \cdot 10^7$	8.5	9.0
Графит	0–5	$1 \cdot 10^{15}$	$6 \cdot 10^{15}$	4.6	2.6
Графит	40	$1 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^4$	5.0	2.5
Железный порошок	0–20	$1 \cdot 10^{14}$	$6 \cdot 10^{15}$	4.6	2.6
Железный порошок	200	$7 \cdot 10^7$	$6 \cdot 10^8$	7.9	5.0
Тальк / слюдяная мука	0–20	$5 \cdot 10^{15}$	$5 \cdot 10^{15}$	4.1	2.2
Каолин	0–20	$1 \cdot 10^{15}$	$1 \cdot 10^{15}$	4.8	2.1
Оксиды металлов	0–40	$5 \cdot 10^{14}$	$7 \cdot 10^{15}$	4.1	2.3

Это связано с образованием перколяционных сетей, обеспечивающих прохождение электрического тока по контактными участкам между частицами. При низких концентрациях наполнителей частицы изолированы друг от друга, и система остаётся диэлектриком; при достижении критической концентрации формируется пространственная проводящая структура.

Минеральные наполнители (тальк, каолин, слюдяная мука) ведут себя иначе: они сохраняют высокое сопротивление, действуя как диэлектрические стабилизаторы. Такие наполнители улучшают теплостойкость и адгезию покрытий, не разрушая структуру полимера.

Результаты экспериментов показывают, что:

- Сажа и графит при 20–40 мас.ч. снижают ρ_v до 10^3 – 10^6 Ом·см, что указывает на формирование цепочечных проводящих структур.
- Железный порошок эффективен лишь при высоких концентрациях (свыше 150–200 мас.ч.), из-за неравномерного распределения частиц по объёму.
- Оксиды металлов (Fe_2O_3 , CuO , MnO_2) демонстрируют умеренное снижение сопротивления благодаря полупроводниковым свойствам и туннельному механизму прохождения тока.
- Минеральные наполнители (тальк, каолин, слюдяная мука) практически не изменяют электропроводность, но стабилизируют диэлектрические параметры и снижают $\text{tg}\delta$.

Диэлектрическая проницаемость (ε) и тангенс диэлектрических потерь ($\text{tg}\delta$) изменяются в зависимости от концентрации. Для сажи и графита при содержании выше 20 мас.ч. наблюдается резкое увеличение ε и $\text{tg}\delta$, что связано с ростом поляризации и образованием микроконтактных зон проводимости. Напротив, тальк и слюдяная мука способствуют

уменьшению $\text{tg}\delta$ и повышению стабильности диэлектрических свойств, особенно при 15–20 мас.ч.

Наряду с изменением электрофизических характеристик, введение наполнителей оказывает заметное влияние на механическую прочность композиций. Установлено, что частицы сажи и графита способствуют повышению микротвёрдости и адгезионной прочности за счёт усиления межмолекулярных взаимодействий. Минеральные наполнители улучшают теплостойкость и устойчивость к старению, действуя как термостабилизаторы.

Таким образом, выбор наполнителя позволяет целенаправленно управлять совокупностью свойств эпоксидных композиций: электропроводностью, диэлектрическими параметрами, прочностью и термостойкостью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Липатов Ю.С. Межфазные влияния в полимерах. – Киев: Наукова думка, 1980.
2. Тростянская Е.Б., Шадчина З.М. Граничные слои в полимерных композиционных материалах. – М., 1989.
3. Негматов С.С., Абед Н.С. и др. Исследование электромеханических свойств композиционных полимерных материалов. – Композиционные материалы, №4, 2020.
4. Mamunya Y.P., Davydenko V.V., Pissis P., Lebedev E.V. *Electrical and thermal conductivity of polymers filled with metal powders. // European Polymer Journal*, 2002.
5. Bauhofer W., Kovacs J.Z. *A review and analysis of electrical percolation in carbon nanotube polymer composites. // Composites Science and Technology*, 2009.

УДК 678.01

Люштык А.Ю., Каюшников С.Н., Ипонова Е.Ю.

(ОАО «Белшина»)

Шашок Ж.С., Усс Е.П.

(УО «Белорусский государственный технологический университет»)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СМОЛ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПОРЕЗОУСТОЙЧИВОСТИ ПРОТЕКТОРА

В настоящее время одной из причин сокращения срока службы шин, используемых на транспортных средствах карьерной техники, самосвалов, погрузчиков, является порезы и проколы, выкрашивание резины