

2. Установлена перспективность применения технологии ультразвукового диспергирования астраленов для модификации эпоксидных ОВС с целью создания новых полимерных композиционных материалов с повышенной огнезащитной эффективностью и стойкостью к экстремальным температурным воздействиям для объектов нефтегазохимического комплекса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Распоряжение Правительства РФ от 28.12.2024 № 4146-р «Об утверждении развития Стратегии пространственного развития РФ на период до 2030 г. С прогнозом до 2036г».
2. Мавлович А. В., Дринберг А. С., Машляковский Л. Н. Огнезащитные вспучивающиеся лакокрасочные покрытия. – М. : ЛКМ-пресс, 2018. – 488 с.
3. Карякина М.И. и др. Исследование атмосферостойкости огнезащитных вспучивающихся покрытий // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 4 (ч. 3). – С. 571–574.
4. Копылов П.С. и др. Оценка поведения огнезащитных покрытий в поле температур от –162 до +1300°C // Инженерно-физический журнал. – 2020. – Т. 98, № 1. – С. 54–61.
5. Иванов А.В. и др. Модификация тонкослойных огнезащитных покрытий многослойными углеродными нанотрубками: физико-технологические принципы и методика применения для объектов трубопроводного транспорта // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. – 2019. – Т. 28. – №. 5. – С. 39–50.

УДК 543.632.54

Лаптик И.О., Прокопчук Н.Р.

(Белорусский государственный технологический университет)

ВЛИЯНИЕ ЗАРЯДА ПОВЕРХНОСТИ НАНОЧАСТИЦ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ЭПОКСИДНОЙ ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИИ

Нами развивается гипотеза о решающей роли заряда поверхности наночастиц в формировании надмолекулярной структуры и свойств наномодифицированных полимерных композитов [1]. В данной работе впервые представлены результаты о влиянии наночастиц различной природы на долговечность эпоксидных электроизоляционных покрытий.

Полимерные материалы на основе эпоксидных смол широко применяются при создании различных устройств и конструкций [2].

Изоляция проводов имеет решающее значение в электромонтажных работах для обеспечения безопасности, предотвращения электрических неисправностей и повышения долговечности систем электропроводки. Среди различных методов изоляции проводов эпоксидная смола выделяется своими превосходными изоляционными свойствами, долговечностью и устойчивостью к суровым условиям.

Эпоксидная смола – это полимерный материал, который при смешивании с отвердителем затвердевает в твердое, прочное покрытие или клей. Он состоит из эпоксидных групп, которые при химической реакции с отвердителем образуют шитую полимерную сеть. Эта сеть обеспечивает исключительную механическую прочность, химическую стойкость и электроизоляционные свойства. Эпоксидная смола обычно используется в различных областях, включая электроизоляцию, покрытия и клеи.

Преимущества эпоксидной изоляции:

- Электрическая изоляция. Эпоксидная смола обладает высокой диэлектрической прочностью, что делает ее отличным изолятором, предотвращающим утечку электрического тока или короткое замыкание.

- Химическая устойчивость. Эпоксидная смола устойчива ко многим химическим веществам, включая кислоты, основания и растворители, что гарантирует сохранение его изоляционных свойств в суровых условиях.

- Механическая сила. Эпоксидная смола образует прочное, жесткое покрытие, которое защищает провода от физических повреждений и истирания.

- Влагостойкость. После затвердевания эпоксидная смола становится непроницаемой для влаги, что снижает риск коррозии и электрических неисправностей, вызванных влажными условиями.

Изоляция проводов эпоксидной смолой – эффективный способ защиты электрических систем от повреждений и обеспечения надежной работы [2].

Условия получения покрытий на основе смолы ЭД 20 и нового отвердителя КТСМА, характеристика наночастиц и способ их введения в олигомерную матрицу, режимы отверждения композиций подробно изложены в [1]. Долговечность композитов оценивали экспресс-методом по значениям энергии активации термоокислительной деструкции E_d [3]. Значения термостимулированных токов (ТСТ) в пикоамперах на поверхности наночастиц, энергия активации термоокислительной деструкции E_d и долговечность композитов при постоянно действующей температуре 70 °С приведены в таблице. Ниже представлены расчеты по СТБ [3]. Главным эксплуатационным фактором, действующим на электроизоляцию, является температура ее разогрева.

Таблица – Долговечность наномодифицированных элетроизоляционных покрытий при постояннодействующей температуре 70 °С

№ образца	Наномодификатор, 0,01 мас. %	ТСТ, пА	Е _д , кДж/моль	τ ₇₀ , лет
1	–	–	105	12,5
2	SiO ₂	1,0	107	14,6
3	Al ₂ O ₃	2,0	109	17,2
4	ZnO	3,5	114	26,2
5	АШ-А	4,0	116	27,2
6	TiO ₂	4,0	116	27,2
7	УДА СП	5,0	117	33,6

Образец № 1.

$$\tau = [10^{(-0.1167 \cdot 105 - 0.09)} \cdot e^{\frac{105}{2,85}}] / 365 = 12,5 \text{ лет} \quad (1)$$

Образец № 2.

$$\tau_{70^\circ} = [10^{(-0.1167 \cdot 107 - 0.09)} \cdot e^{\frac{107}{2,85}}] / 365 = 14,6 \text{ лет} \quad (2)$$

Образец № 3.

$$\tau_{70^\circ} = [10^{(-0.1167 \cdot 109 - 0.09)} \cdot e^{\frac{109}{2,85}}] / 365 = 17,2 \text{ лет} \quad (3)$$

Образец № 4.

$$\tau_{70^\circ} = [10^{(-0.1167 \cdot 114 - 0.09)} \cdot e^{\frac{114}{2,85}}] / 365 = 26,2 \text{ лет} \quad (4)$$

Образец № 5.

$$\tau_{70^\circ} = [10^{(-0.1167 \cdot 116 - 0.09)} \cdot e^{\frac{116}{2,85}}] / 365 = 27,2 \text{ лет} \quad (5)$$

Образец № 6.

$$\tau_{70^\circ} = [10^{(-0.1167 \cdot 116 - 0.09)} \cdot e^{\frac{116}{2,85}}] / 365 = 27,2 \text{ лет} \quad (6)$$

Образец № 7.

$$\tau_{70^\circ} = [10^{(-0.1167 \cdot 117 - 0.09)} \cdot e^{\frac{117}{2,85}}] / 365 = 33,6 \text{ лет} \quad (7)$$

Анализ данных таблицы показывает, что существует четкая зависимость долговечности эпоксидного покрытия от заряда поверхности введенных в олигомер наночастиц.

Долговечность элетроизоляции при постояннодействующей температуре 70°С возрастает в ряду: ЭП < ЭП + SiO₂ < ЭП + Al₂O₃ < ЭП + ZnO < ЭП + TiO₂ < ЭП + АШ-А < ЭП + УДА СП.

Эффект наномодифицирования весьма существенный. Рост долговечности электроизоляции достигает 2,7 раза при введении в эпоксидную смолу наночастиц УДА СП в сверхмалых количествах 0,01 мас. %.

Механизм усиливающего действия наночастиц заключается в следующем. Наночастицы, имея на своей поверхности нескомпенсированный электрический заряд, взаимодействуют со свободными гидроксильными или эпоксидными группами в молекулах эпоксидной смолы с образованием сил Ван-дер-Ваальса. Суммарные межмолекулярные взаимодействия при наномодифицировании существенно возрастают. Движение звеньев в молекулах эпоксидной смолы между узлами пространственной химической сетки замедляются. Потенциальный барьер разрыва химических связей внутри молекул эпоксидной смолы возрастает, что подтверждено экспериментально: параметр E_d увеличивается с 105 до 117 кДж/моль. Это приводит к росту долговечности покрытий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Роль энергетического состояния поверхности наночастиц в формировании структуры и свойств полимерных нанокомпозитов / Н. Р. Прокопчук [и др.] // Полимерные материалы и технологии. 2025. № 3. С. 28–35.
2. Об электропроводности эпоксидной матрицы с углеродными нанотрубками / В. А. Семенов [и др.] // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. 2019. № 3. С. 89–93.
3. СТБ 1333.0–2002 «Изделия полимерные для строительства. Метод определения долговечности по энергии активации термоокислительной деструкции полимерных материалов» – Введ. 28.06.2002 (впервые). – Минск: Министерство архитектуры и строительства РБ, 2002. – 8 с.

УДК 678.046

Насыбуллина А.А., Шишкина Н.Н., Закирова Л.Ю.
(ФГБОУ ВО «КНИТУ», г. Казань)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТОЙКОСТИ К СРЕДАМ РЕЗИН С ДОБАВКАМИ НА ОСНОВЕ КАРБАМИДОВ

В связи со стабилизацией ассортимента каучуков и основных ингредиентов резиновых смесей для создания резин с новыми свойствами весьма перспективным является использование в резиновых смесях химических добавок полифункционального действия.

Существует большое количество научных публикаций, написан целый ряд обзоров, в которых рассматривается модификация резин различными соединениями [1–4]. Однако, в большинстве случаев, модификация