

УДК 679.7:678:544

doi:10.20998/2413-4295.2019.45.25

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ІНГРЕДІЄНТІВ НА ЕЛЕКТРОФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ НАНОМОДИФІКОВАНИХ ПОЖЕЖОБЕЗПЕЧНИХ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙ З ДИГІДРАТАМИ ОКСИДУ МАГНІЮ

О. В. ЧУЛЄЄВА*, В. М. ЗОЛОТАРЬОВ

Приватне акціонерне товариство «ЗАВОД ПІВДЕНКАБЕЛЬ», Харків, УКРАЇНА
e-mail: echuleeva@ukr.net

АНОТАЦІЯ Метою статті є визначення впливу фізико-хімічних властивостей та концентрації модифікаторів, типу і дисперсності дигідратів оксиду магнію та полімерної матриці на електрофізичні властивості пожежеобезпечних композиційних матеріалів кополімеру етилену з вінілацетатом. Досліджували композиції кополімеру з показником плинності розплаву 2,5 г/10 хв та 5 г/10 хв., дигідрати оксиду магнію з середнім медіанним діаметром часточок 3 мкм та 3,7 мкм, аміносилани з динамічною в'язкістю 2 МПа · с та 2,5 МПа · с. Для проведення досліджень використовували методи визначення електричної міцності, об'ємного електричного опору, тангенсу кута діелектричних втрат, діелектричної проникності. Для цього використовували апарат випробування ізоляції, вимірювач електричного опору ізоляції, міст змінного струму. З метою порівняння для кожної полімерної композиції будували графіки залежності цих показників від вмісту інгредієнтів. Отримано електрофізичні характеристики, які дозволяють визначити склад, що забезпечує оптимальні значення для ізоляційних матеріалів з підвищеними вимогами пожежної безпеки. Вперше використано методи електрофізичних досліджень з метою визначення впливу властивостей інгредієнтів полімерних композицій на електричну міцність, питомий об'ємний електричний опір, тангенс кута діелектричних втрат, діелектричну проникність. Електрична міцність підвищується з 25,5 кВ/мм до 30 кВ/мм, питомий об'ємний електричний опір підвищується від $4 \cdot 10^{12}$ Ом · см до $6 \cdot 10^{14}$ Ом · см, діелектрична проникність зменшується до 3,8, а тангенс кута діелектричних втрат до 0,0055. Результати досліджень доцільно використовувати для розробки складу пожежеобезпечних полімерних композицій для кабельної продукції.

Ключові слова: композиційні матеріали; модифікатор; кополімер етилену з вінілацетатом; дигідрат оксиду магнію; електрофізичні властивості.

RESEARCH OF THE INFLUENCE OF INGREDIENTS ON ELECTROPHYSICAL PROPERTIES OF NANOMODIFIED FIRE-SAFE POLYMER COMPOSITIONS WITH MAGNESIUM OXIDE DIHYDRATES

O. CHULIEIEVA, V. ZOLOTARYOV

Private joint stock company pjsc «YUZHicable WORKS», Kharkiv, UKRAINE

ABSTRACT The purpose of the article is to determine the influence of physico-chemical properties and concentration of modifiers, the type and dispersion of magnesium oxide dehydrates and the polymer matrix on the electrophysical properties of fire-fighting composite materials of copolymer ethylene with vinyl acetate. Copolymer compositions with a flux rate of 2,5 g/10 min and 5 g/10 min, magnesium oxide dihydrates with a mean median diameter of particles of 3 μ m and 3,7 μ m were studied, amino silanes with a dynamic viscosity of 2 MPa · s and 2,5 MPa · s. Methods for determination of electric strength, volume electric resistance, tangent of dielectric loss angle, dielectric permittivity were used for conducting researches. For this purpose, a device for testing isolation, an electric resistive resistance meter, and an AC bridge were used. In order to compare these indices, for each polymer composition, the graphs were based on the content of the ingredients. Electrophysical characteristics have been obtained, which allow determining the composition that provides optimal values for insulating materials with increased fire safety requirements. Electrophysical investigations were first used to determine the effect of the properties of polymer compositions on electrical strength, specific volumetric electrical resistance, tangent of the angle of dielectric losses, dielectric permeability. The electrical strength rises from 25,5 kV/mm to 30 kV/mm, the specific volumetric electric resistance rises from $4 \cdot 10^{12}$ Ω cm to $6 \cdot 10^{14}$ Ω cm, the dielectric constant decreases to 3,8 and the tangent of the angle of dielectric loss to 0,0055. The results of researches should be used for the development of the composition of fire-safe polymer compositions for cable products.

Keywords: composite materials; modifier; ethylene-vinyl acetate copolymer; magnesium oxide dihydrate; electrophysical properties.

Вступ

За останні роки підвищилися технічні вимоги щодо кабельних виробів та, як слідство, необхідність розробки нових прогресивних матеріалів, в тому числі

пожежеобезпечних полімерних композиційних матеріалів. Створення безгалогенних рецептур досягається за рахунок введення в базовий полімер антипіренів – гідроксидів металів [1]. Основними технічними характеристиками для пожежеобезпечних

полімерних композицій впродовж експлуатації є електрофізичні показники. Однак, дослідження їх проведено недостатньо. Тому, дослідження залежності електрофізичних властивостей від складу полімерних композицій, враховуючи модифікатор, хімічний склад, дисперсність дигідратів оксиду магнію є актуальною проблемою. Одним із засобів зниження горючості полімерних матеріалів поліолефінів є введення до полімерної композиції наповнювачів-антипіренів [2]. З цією метою використовують неорганічні наповнювачі-антипірени [3]. В умовах реальної пожежі ПВХ пластикати, що є елементами кабелів, які мають значення КІ до 40 одиниць, є джерелом виділення корозійноактивних газів HCl та значного задимлення. Тому, з метою вирішення проблем, що пов'язані з виділенням HCl та задимленням, було створено полімерні композиції, які не виділяють корозійноактивних газів та мають значно нижчий рівень виділення диму [4]. Ці матеріали не тільки збільшують вогнестійкість за рахунок поглинання більшої кількості тепла, але й нейтралізують кислі гази, що призводить до зниження димоутворення [5]. В якості полімерної бази цих матеріалів зазвичай використовують поліолефіни, а в якості антипіренів – дигідрати оксиду магнію. [6]. Вивчали вогнетривкі властивості композиційних матеріалів, базовим полімером в яких є LDPE/EVA. В якості наповнювачів використовували гідроксид магнію та тригідрат оксиду алюмінію. Вогнетривкі властивості оцінювали за горизонтальним горінням та за кисневим індексом [7]. За допомогою методів TGA/DSC проводились дослідження полімерних композицій з використанням в якості антипірену діоксиду магнію. Визначали теплоємність цих матеріалів [8]. Досліджено вогнестійкість кополімеру етилену з вінілацетатом, який наповнювали тригідратом оксиду алюмінію, дигідратами оксиду магнію та діоксидом кремнію [9]. Встановлено, що задля забезпечення пожежобезпечних властивостей композиційних матеріалів для ізоляції та оболонки кабелів та кращої безпеки електричного обладнання та пристроїв, має бути дуже високий ступень наповнення полімерної матриці гідратами металів, що може призвести до втрати гнучкості та низьким механічним властивостям з одночасними проблемами під час переробки [10]. Вивчали можливість використання гідроксиду магнію, борату цинку, та їх сумісну дію, як інгібітору горіння поліпропіленового волокна. Показана ефективність використання борату цинку. Використання гідроксиду магнію є малоефективним. Перевірялись теплові, механічні та морфологічні властивості [11]. Показано ефективність використання аміноалкоксиланів як апретів для поліпшення контактів полімер-наповнювача в композиційних матеріалах та обробки неорганічних субстратів для підвищення адгезії різних полімерів і покриттів [12,13].

Наведені дослідження показують, що властивості полімерних композицій змінюються в

залежності від складу. Рівень електрофізичних властивостей пожежобезпечних полімерних композиційних матеріалів впродовж експлуатації кабельної продукції має важливе значення. Однак багато запитань, які пов'язано зі створенням пожежобезпечних полімерних композицій все ще недостатньо вивчено. Особливо це стосується впливу модифікаторів, дигідратів оксиду магнію та полімерної матриці на електрофізичні властивості.

Мета роботи

Вивчення впливу фізико-хімічних властивостей та концентрації модифікаторів, типу і дисперсності наповнювачів-антипіренів та полімерної матриці на електрофізичні властивості пожежобезпечних композиційних матеріалів кополімеру етилену з вінілацетатом. Це дасть можливість обґрунтовано підходити до визначення типу полімеру, модифікатора, та дисперсності наповнювача-антипірену. Це також дозволить швидко скорегувати рецептуру композиції в залежності від наявної сировини або від бажаних електрофізичних властивостей кінцевого продукту.

Для досягнення поставленої мети необхідно дослідити залежність електричної міцності, питомого об'ємного електричного опору, тангенса кута діелектричних втрат, діелектричної проникності від кількості модифікатору та властивостей інгредієнтів полімерних композицій.

Матеріали та обладнання для вивчення електрофізичних властивостей

Досліджували кополімери етилену з вінілацетатом (КЕВ-1, КЕВ-2), характеристики яких наведено в табл. 1, а також наповнювачі-антипірени, в якості яких використовували дигідрати оксиду магнію. Характеристики наповнювачів-антипіренів наведено в табл. 2. Модифікатор 1 – 3-амінопропілтриетоксисилан, модифікатор 2 – аminosилан (N-(3-триметоксисилан) пропілбутіламін). Характеристики наведено в табл. 3.

Вимірювання електрофізичних показників полімерних композицій проводилися на зразках завтовшки $(1,0 \pm 0,1)$ мм, виготовлених вальцево-пресовим методом за температури 448 К.

Серію експериментів з визначення електричної міцності, питомого електричного опору, діелектричної проникності, тангенса кута діелектричних втрат було проведено з використанням апарату типу АІІ-70, вимірювача електричного опору КИСИ-1, мосту змінного струму Р589.

Обробку результатів та побудову графіків виконували за допомогою програмного забезпечення Microsoft Office Excel 2007.

Адекватність рівняння регресії проводили перевіркою статистичної значимості коефіцієнта

детермінації R^2 по F -критерію, визначеному за формулою [14]:

$$F_p = \frac{R^2}{1-R^2} \cdot \frac{n-m-1}{m},$$

де n – кількість спостережень; m – кількість факторів у рівнянні регресії.

Результати досліджень електрофізичних властивостей полімерних композицій

Вимірювання електричної міцності полімерних композицій проводили змінною напругою до 50 кВ, частотою 50 Гц.

Результати досліджень наведено на рис. 1, 2.

Дослідження залежностей показників електричної міцності полімерних композицій від хімічного складу та дисперсності наповнювачів-антипіренів демонструє вплив кожного з них на її величину.

Аналіз цих характеристик показує, що найвищі значення електричної міцності можливо досягнути під час використання в якості наповнювача-антипірену зразок 4: для полімерної композиції на основі КЕВ-1 – (25,5 – 30,0) кВ/мм; на основі КЕВ-2 – (20,8 – 28,0) кВ/мм. Ці значення електричної міцності досягаються під час використання наповнювача-антипірена з меншим середнім діаметром часточок та модифікатору 1.

Як показано в [9] реологічні характеристики полімерних композицій значно покращуються під час використання модифікатору 2. Доцільно встановити як впливає на електричну міцність суміш модифікаторів.

Складаємо рівняння регресії модифікаторів 1 та 2 для врахування вкладу кожного із модифікаторів:

$$1. y = (25,46e^{0,102x}) \cdot k_1 + (24,84e^{0,058x}) \cdot k_2.$$

$$2. y = (20,78e^{0,215x}) \cdot k_1 + (20,66e^{0,188x}) \cdot k_2.$$

Зміною кількості модифікаторів в їх сумішах одержували оптимальні значення кількості модифікованої суміші (рис. 1 крива 3, 4; рис. 2 крива 3, 4).

Розрахунок питомого об'ємного електричного опору проводили за формулою:

$$\rho_v = \frac{\pi \cdot \left(\frac{d_1 + d_2}{2}\right)^2}{4 \cdot t} \cdot R_v,$$

де d_1 – діаметр вимірювального електроду, м;
 d_2 – внутрішній діаметр охоронного електроду, м;
 t – товщина зразка; R_v – вимірний опір, Ом.

Результати досліджень наведено на рис. 3.

Таблиця 1 – Характеристики кополімеру етилену з вінілацетатом

Показник	КЕВ-1	КЕВ-2
Густина, кг/м ³	939	951
Показник плинності розплаву, 2,16 кг, г/10 хв	2,5	5
Вміст вінілацетату, %	18	28

Таблиця 2 – Характеристики наповнювачів-антипіренів

Показник	Mg(OH) ₂	
	Зразок № 3	Зразок № 4
Масова доля, %:		
– Mg(OH) ₂	>93	>93,2
– SiO ₂	<0,05	2,2±0,2
– Fe ₂ O ₃	<0,3	0,12±0,02
– Na ₂ O	<0,05	–
– CaO	–	2,2±0,2
Медіанний діаметр часточок, мкм:		
– середній (D ₅₀)	3	3,7
– макс. (D ₉₈)	20	12,5

Таблиця 3 – Характеристики аміносилану

Показник	Значення	
	Аміносилан 1	Аміносилан 2
Густина, кг/м ³ , 20 °С	950	947
Динамічна в'язкість, МПа·с, 20 °С	2	2,5
pH	11,3	10,9

З підвищенням питомого об'ємного електричного опору покращуються електроізоляційні властивості матеріалу. Питомий об'ємний електричний опір значно підвищується (від $4 \cdot 10^{12}$ до $6 \cdot 10^{14}$) Ом · см для полімерних композицій на основі КЕВ-2, антипірену 4 та в разі використання модифікатору 2 (рис. 3 крива 1). Рівняння регресії з урахуванням вкладів кожного із модифікаторів в суміші:

$$3. y = (2E + 12e^{-1,862x}) \cdot k_1 + (2E + 12e^{-2,31x}) \cdot k_2$$

Досліджено зміни питомого об'ємного електричного опору від вологості полімерних композицій. Результати досліджень наведено на рис. 4.

Показано зниження питомого об'ємного електричного опору для полімерних композицій.

Рівняння регресії для сумішей модифікаторів:

$$4. y = (4E + 17e^{-39,9x}) \cdot k_1 + (3E + 21e^{-96,4x}) \cdot k_2$$

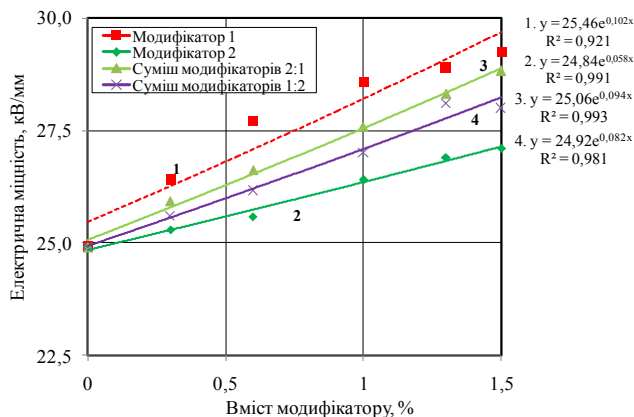


Рис. 1 – Залежність електричної міцності від вмісту модифікатора, для полімерних композицій на основі КЕВ-1 та антипірену 4: крива 1 – модифікатор 1, крива 2 – модифікатор 2, крива 3 – суміш модифікаторів де, $k1 = 0,67$; $k2 = 0,33$; крива 4 – суміш модифікаторів де, $k1 = 0,33$; $k2 = 0,67$

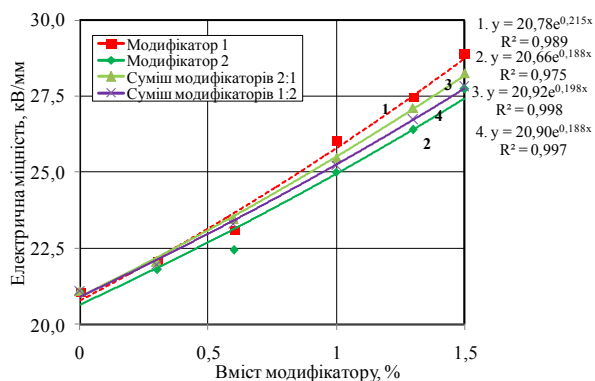


Рис. 2 – Залежність електричної міцності від вмісту модифікатора, для полімерних композицій на основі КЕВ-2 та антипірену 4: крива 1 – модифікатор 1, крива 2 – модифікатор 2, крива 3 – суміш модифікаторів де, $k1 = 0,67$; $k2 = 0,33$; крива 4 – суміш модифікаторів де, $k1 = 0,33$; $k2 = 0,67$

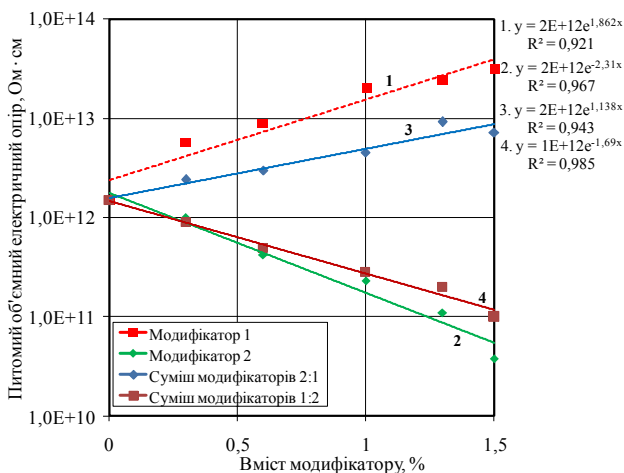


Рис. 3 – Залежність питомого об'ємного електричного опору від вмісту модифікатора полімерних композицій на основі КЕВ-2 з антипіреном 4: крива 1 – модифікатор 1; крива 2 – модифікатор 2; крива 3 – суміш модифікаторів де, $k1 = 0,67$; $k2 = 0,33$; крива 4 – суміш модифікаторів де, $k1 = 0,33$; $k2 = 0,67$

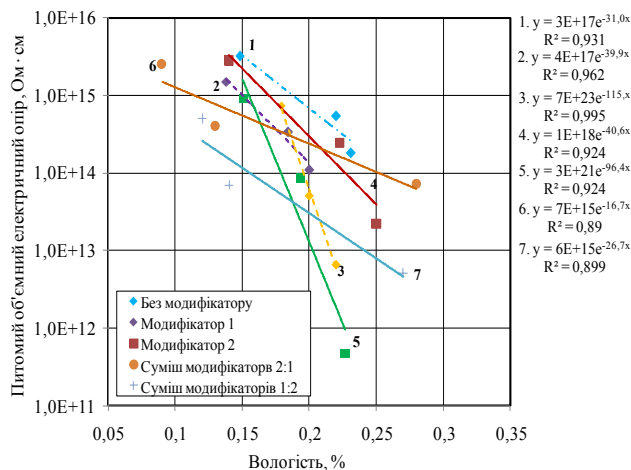


Рис. 4 – Залежність питомого об'ємного електричного опору від вологості полімерних композицій на основі КЕВ-1 та антипірену зразок 4 і модифікаторів: крива 1 без модифікатора; модифікатор 1: крива 2 – 0,6 %, крива 3 – 1,5 %; модифікатор 2: крива 4 – 0,6 % крива 5 – 1,5 %, крива 6 – суміш модифікаторів де, $k1 = 0,67$; $k2 = 0,33$; крива 7 – суміш модифікаторів де, $k1 = 0,33$; $k2 = 0,67$

Вимірювання тангенсу кута діелектричних втрат і електричної ємності (для подальшого розрахунку діелектричної проникності середовища) здійснювали за допомогою моста змінного струму Р589 за напруги 24 В і частоти 1 кГц з допустимою основною похибкою $\pm 0,1 \%$ під час вимірювання ємності і $\pm (0,02 \text{tg}\delta + 3 \cdot 10^{-4})$ під час вимірювання тангенсу кута діелектричних втрат.

Розрахунки проводили за формулами:
Діелектрична проникність середовища

$$\epsilon = 0,144 \cdot C_x \cdot \frac{t}{\left(\frac{d_1 + d_2}{2}\right)^2},$$

де d_1 – діаметр вимірювального електроду, м; d_2 – внутрішній діаметр охоронного електроду, м; t – товщина зразка; C_x – виміряна електрична ємність, пФ.

Тангенс кута діелектричних втрат

$$\text{tg}\delta = \frac{1}{\omega \cdot C_{\text{пар.}} \cdot R_{\text{пар.}}} = \omega \cdot C_{\text{посл.}} \cdot R_{\text{посл.}},$$

де ω – кутова частота, рад/с; $C_{\text{пар.}}$ – виміряна електрична ємність в еквівалентній паралельній схемі заміщення, пФ; $R_{\text{пар.}}$ – виміряний опір в еквівалентній паралельній схемі заміщення, Ом; $C_{\text{посл.}}$ – виміряна електрична ємність в еквівалентній послідовній схемі заміщення, пФ; $R_{\text{посл.}}$ – виміряний опір в еквівалентній послідовній схемі заміщення, Ом.

Результати досліджень наведено на рис. 5.

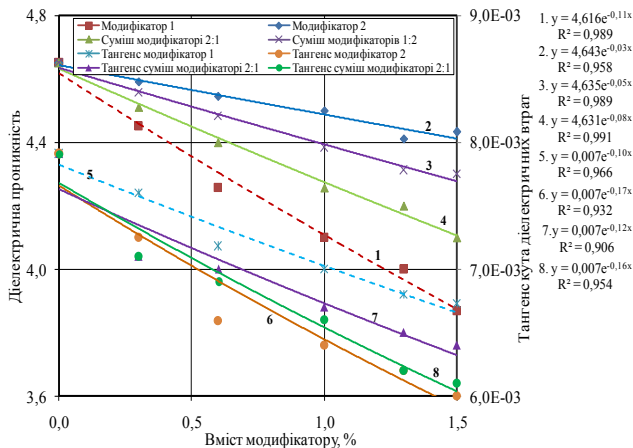


Рис. 5 – Залежність діелектричної проникності та тангенсу кута від вмісту модифікаторів, для полімерних композицій на основі КЕВ-1 та антипірену 4: крива 1, 5 – модифікатор 1, крива 2, 6 – модифікатор 2, крива 3, 7 – суміш модифікаторів де, $k1 = 0,67$; $k2 = 0,33$; крива 4, 8 – суміш модифікаторів де, $k1 = 0,33$; $k2 = 0,67$

Електроізоляційний матеріал вважається кращим, якщо має нижчі значення діелектричної проникності та тангенсу кута діелектричних втрат. Результати досліджень показують, що для композицій на основі КЕВ 2 значення цих показників збільшується для всіх складів полімерних матеріалів.

Використання в якості полімерної матриці КЕВ 1 призводить до зниження діелектричної проникності та тангенсу кута діелектричних втрат (рис. 5). Діелектрична проникність зменшується до 3,8, а тангенс кута діелектричних втрат до 0,0055.

Рівняння регресії з урахуванням вкладів суміші модифікаторів 1 та 2 будуть мати вигляд.

Для діелектричної проникності:

$$5. y = (4,616e^{-0,11x}) \cdot k1 + (4,643e^{-0,03x}) \cdot k2.$$

Для тангенсу кута діелектричних втрат:

$$6. y = (0,007e^{-0,10x}) \cdot k1 + (0,007e^{-0,17x}) \cdot k2$$

Важливий вплив на електрофізичні властивості пожежобезпечних полімерних композицій має формування надмолекулярної структури отриманих композицій. Про це свідчать результати досліджень електричної міцності, питомого об'ємного електричного опору, діелектричної проникності та тангенсу кута діелектричних втрат. Результати досліджень дають змогу розробляти технології отримання полімерних композицій з керованими електрофізичними властивостями для ізоляції і оболонок кабельної продукції.

Перевагами даного дослідження є вивчення електрофізичних властивостей пожежобезпечних полімерних композиційних матеріалів з використанням високоточних сучасних приборів.

Висновки

На електрофізичні властивості пожежобезпечних полімерних композицій суттєво впливають дисперсність дигідратів оксидів магнію, реологічні властивості полімерної матриці та фізико-хімічні властивості модифікаторів. Електрична міцність підвищується з 25,5 кВ/мм до 30 кВ/мм для композицій КЕВ-1, дигідрату оксиду магнію з меншим середнім діаметром часточок та модифікатору 1 з меншою динамічною в'язкістю.

Питомий об'ємний електричний опір підвищується від $4 \cdot 10^{12}$ Ом · см до $6 \cdot 10^{14}$ Ом · см для полімерних композицій КЕВ-2, дигідрату оксиду магнію зразок 4 та модифікатору 2 з більшою динамічною в'язкістю.

Діелектрична проникність зменшується до 3,8, а тангенс кута діелектричних втрат до 0,0055 для полімерних композицій КЕВ-1, дигідрату оксиду магнію зразок 4 та модифікатору 1.

Список літератури

1. Тирелли, Д. Антипірені для композитів / Д. Тирелли // *The Chemical Journal*. – 2013. – no.1-2. – p. 42-45.
2. Василюк, Л. Г. Пожаробезопасные полимерные композиционные материалы на основе олефиновых сополимеров. Регулирование технологических, физико-механических и теплофизических свойств / Л. Г. Василюк, В. М. Золотарев, Е. В. Чулеева // *Журнал для производителей и потребителей «Кабели и провода»*. – 2018. – № 3(371). – С. 20-28.
3. Аблеев, Р. Актуальные проблемы в разработке и производстве негорючих полимерных компаундов для кабельной индустрии / Р. Аблеев // *Кабель-news*. – 2009. – №6-7. – С. 64-69.
4. Обзор минеральных антипиренов-гидроксидов для безгалогенных кабельных композиций // *Кабель-news*. – 2009. – № 8. – С. 41-43.
5. Пешков, И. Б. Материалы кабельного производства / И. Б. Пешков. – М.: Машиностроение, 2013. – 456 с.
6. Laoutid, F. Calcium-based hydrated minerals: Promising halogen-free flame retardant and fire resistant additives for polyethylene and ethylene vinyl acetate copolymers / F. Laoutid, L. Marion, L. Didier, B. Leila // *Polymer Degradation and Stability*. – 2013. – Vol. 98. – Issue 9. – P. 1617-1625. – doi: 10.1016/j.polymdegradstab.2013.06.020.
7. Lujan-Acosta, R. Effect of Amino alcohol functionalized polyethylene as compatibilizer for LDPE/EVA/clay/flame-retardant nanocomposites / Lujan-Acosta R., Sanchez-Valdes S., Ramirez-Vargas E., Ramos-DeValle L.F. // *Materials Chemistry and Physics*. – 2014. – Vol. 146. – Issues 14. – P. 437-445. – doi: 10.1016/j.matchemphys.2014.03.050.
8. Sonnier, R. Fire retardant benefits of combining aluminum hydroxide and silica in ethylene-vinyl acetate copolymer (EVA) / R. Sonnier, A. Viretto, LoYc Dumazert // *Polymer Degradation and Stability*. – 2016. – Vol. 128. – P. 228-236. – doi: 10.1016/j.polymdegradstab.2016.03.030.
9. Chulieva, O. Effect of fire retardant fillers on thermophysical properties of composite materials of ethylene-vinyl acetate copolymer / O. Chulieva // *Eastern-European journal of enterprise technologies*. –

2017. – No. 6/12 (90). – P. 58-64. – doi: 10.15587/1729-4061.2017.119494.
10. **Chulieieva, O.** Effect of modifier on the thermophysical properties of fireproof ethylene-vinyl acetate copolymer composition materials / **O. Chulieieva, V. Zolotaryov** // *Technology audit and production reserves*. – 2018. – № 6/1(44). – P. 23–28. – doi:10.15587/2312-8372.2018.150294.
 11. **Jeencham, R.** Effect of flame retardants on flame retardant, mechanical, and thermal properties of sisal fiber/polypropylene composites / **R. Jeencham, N. SuppaRarn, K. Jarukumjorn** // *Composites Part B: Engineering*. – 2014. – Vol. 56. – P. 249–253. – doi: 10.1016/j.compositesb.2013.08.012.
 12. **Valadez-Gonzalez, A.** Chemical modification of heneque'n fibers with an or-ganosilane couplingagent / **A. Valadez-Gonzalez, J. Cervantes-Uc, R. Olayo** // *Composites Part B*. – 1999. – № 30. – P. 321–331.
 13. **Jesionowski, T.** Effect of N-2-(aminoethyl)-3-aminopropyltrimethoxysilane surface modification and C.I. Acid Red 18 dye adsorption on the physico-chemical properties of silica precipitated in an emulsion route, used as a pigment and a filler in acrylic paints / **T. Jesionowski, M. Pokoraa, W. Tylus** // *Dyes and Pigments*. – 2003. – №57. – P. 29–41.
 14. **Макарова, Н. В.** Статистика в Excel: Учеб. пособие / **Н. В. Макарова, В. Я. Трофимец**. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 368 с.

References (transliterated)

1. **Tirelli, Diyego.** Antipireny dlya kompozitov [Flame retardants for composites]. *The Chemical Journal*, 2013, **1-2**, 42-45.
2. **Vasilets, L. G., Chulieieva, E. V., Zolotaryov, V. M.** Pozharobezopasnyye polimernyye kompozitsionnyye materialy na osnove olefinovykh sopolimerov. Regulirovaniye tekhnologicheskikh, fiziko-mekhanicheskikh i teplofizicheskikh svoystv [Fireproof polymer composite materials based on olefin copolymers. Regulation of technological, physicochemical and thermophysical properties]. *Zhurnal dlya proizvoditeley i potrebiteley «Kabeli i provoda»*, 2018, **3(371)**, 20-28.
3. **Ableyev, R.** Aktual'nyye problemy v razrabotke i proizvodstve negoryuchikh polimernykh kompaundov dlya kabel'noy industrii [Actual problems in the development and production of non-combustible polymeric compounds for the cable industry]. *Kabel'-news*, 2009, **6-7**, 64-69.
4. **Obzor mineral'nykh antipirenov-gidroksidov dlya bezgalogenykh kabel'nykh kompozitsiy** [Review of mineral fire retardant-hydroxides for halogen-free cable compositions]. *Kabel'-news*, 2009, **8**, 41–43.
5. **Peshkov, I. B.** Materialy kabel'nogo proizvodstva [Materials cable production]. *M.: Mashinostroyeniye*, 2013, 456.
6. **Laoutid, F., Marion, L., Didier, L., Leila, B.** Calcium-based hydrated minerals: Promising halogen-free flame retardant and fire resistant additives for polyethylene and ethylene vinyl acetate copolymers. *Polymer Degradation and Stability*, 2013, **98**, 9, 1617–1625, doi: 10.1016/j.polymdegradstab.2013.06.020.
7. **Lujan-Acosta, R., Sanchez-Valdes, S., Ramirez-Vargas, E., Ramos-DeValle, L. F.** Effect of Amino alcohol functionalized polyethylene as compatibilizer for LDPE/EVA/clay/flame-retardant nanocomposites. *Materials Chemistry and Physics*, 2014, **146**, 14, 437-445, doi: 10.1016/j.matchemphys.2014.03.050.
8. **Sonnier, R., Viretto, A., Dumazert, LoYc.** Fire retardant benefits of combining aluminum hydroxide and silica in ethylene-vinyl acetate copolymer (EVA). *Polymer Degradation and Stability*, 2016, **128**, 228–236, doi: 10.1016/j.polymdegradstab.2016.03.030.
9. **Chulieieva, O.** Effect of fire retardant fillers on thermophysical properties of composite materials of ethylene-vinyl acetate copolymer. *Eastern-European journal of enterprise technologies*, 2017, **6/12 (90)**, 58-64, doi: 10.15587/1729-4061.2017.119494.
10. **Chulieieva, O., Zolotaryov, V.** Effect of modifier on the thermophysical properties of fireproof ethylene-vinyl acetate copolymer composition materials. *Technology audit and production reserves*, 2018, **6/1(44)**, 23–28, doi:10.15587/2312-8372.2018.150294.
11. **Jeencham, R., SuppaRarn, N., Jarukumjorn, K.** Effect of flame retardants on flame retardant, mechanical, and thermal properties of sisal fiber/polypropylene composites. *Composites Part B: Engineering*, 2014, **56**, 249–253, doi: 10.1016/j.compositesb.2013.08.012.
12. **Valadez-Gonzalez, A., Cervantes-Uc, J., Olayo, R.** Chemical modification of heneque'n fibers with an organosilane couplingagent. *Composites Part B*, 1999, **30**, 321–331.
13. **Jesionowski, T., Pokoraa, M., Tylus, W.** Effect of N-2-(aminoethyl)-3-aminopropyltrimethoxysilane surface modification and C.I. Acid Red 18 dye adsorption on the physico-chemical properties of silica precipitated in an emulsion route, used as a pigment and a filler in acrylic paints. *Dyes and Pigments*, 2003, **57**, 29–41.
14. **Makarova, N. V., Trofimets, V. Ya.** Statistika v Excel [Excel statistics]: *Ucheb. Posobiye*. М.: Finansy i statistika, 2002, 368.

Сведения об авторах (About authors)

Чулєєва Олена Володимирівна – кандидат технічних наук, директор науково-технічного центру, приватне акціонерне товариство «ЗАВОД ПІВДЕНКАБЕЛЬ», м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0002-7310-0788; e-mail: echuleeva@ukr.net.

Olena Chulieieva – PhD, Director of the Science and Technology Center, PJSC «Yuzhcable Works», Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0002-7310-0788; e-mail: echuleeva@ukr.net.

Золотарьов Володимир Михайлович – доктор технічних наук, Генеральний директор, приватне акціонерне товариство «ЗАВОД ПІВДЕНКАБЕЛЬ», м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0002-3886-4993; e-mail: zavod@yuzhcable.com.ua.

Volodymyr Zolotaryov – Doctor of Technical Sciences, Professor, Director General, PJSC «Yuzhcable Works», Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0002-3886-4993; e-mail: zavod@yuzhcable.com.ua.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Чулєєва, О. В. Дослідження впливу інгредієнтів на електрофізичні властивості наномодифікованих пожежобезпечних полімерних композицій з дигідратами оксиду магнію / **О. В. Чулєєва, В. М. Золотарьов** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2019. – № 5 (1330). – С. 197-203. – doi:10.20998/2413-4295.2019.05.25.

Please cite this article as:

Chulieieva, E., Zolotaryov, V. Research of the influence of ingredients on electrophysical properties of nanomodified fire-safe polymer compositions with magnesium oxide dihydrates. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2019, **5** (1330), 197-203, doi:10.20998/2413-4295.2019.05.25.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Чулєєва, Е. В. Исследование влияния ингредиентов на электрофизические свойства наномодифицированных пожаробезопасных полимерных композиций с дигидратами оксида магния / **Е. В. Чулєєва, В. М. Золотарев** // *Вестник НТУ «ХПІ», Серія: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПІ». – 2019. – № 5 (1330). – С. 197-203. – doi:10.20998/2413-4295.2019.05.25.

АННОТАЦИЯ Целью статьи является определение влияния физико-химических свойств и концентрации модификаторов, типа и дисперсности дигидрата оксида магния и полимерной матрицы на электрофизические свойства пожаробезопасных композиционных материалов сополимера этилена с винилацетатом. Исследовали композиции сополимера с показателем текучести расплава 2,5 г/10 мин и 5 г/10 мин., дигидраты оксида магния со средним медианным диаметром частиц 3 мкм и 3,7 мкм, аминосиланы с динамической вязкостью 2 МПа · с и 2,5 МПа · с. Для проведения исследований использовали методы определения электрической прочности, объемного электрического сопротивления, тангенса угла диэлектрических потерь, диэлектрической проницаемости. Для этого использовали аппарат испытания изоляции, измеритель сопротивления изоляции, мост переменного тока. С целью сравнения для каждой полимерной композиции строили графики зависимости этих показателей от содержания ингредиентов. Получены электрофизические характеристики, которые позволяют определить состав, обеспечивающей оптимальные значения для изоляционных материалов с повышенными требованиями пожарной безопасности. Впервые использованы методы электрофизических исследований с целью определения влияния свойств ингредиентов полимерных композиций на электрическую прочность, удельное объемное электрическое сопротивление, тангенс угла диэлектрических потерь, диэлектрическую проницаемость. Электрическая прочность повышается с 25,5 кВ / мм до 30 кВ / мм, удельное объемное электрическое сопротивление повышается с $4 \cdot 10^{12}$ Ом · см до $6 \cdot 10^{14}$ Ом · см, диэлектрическая проницаемость уменьшается до 3,8, а тангенс угла диэлектрических потерь до 0,0055. Результаты исследований целесообразно использовать для разработки состава пожаробезопасных полимерных композиций для кабельной продукции.

Ключевые слова: композиционные материалы; модификатор; сополимер этилена с винилацетатом; дигидрат оксида магния; электрофизические свойства.

Поступила (received) 29.03.2019