

УДК 679.7:678:544

DOI: 10.15587/2313-8416.2018.141413

ПОЖЕЖОБЕЗПЕЧНІ ПОЛІМЕРНІ МАТЕРІАЛИ НА ОСНОВІ ОЛЕФІНОВИХ КОПОЛІМЕРІВ. РЕГУЛЮВАННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

© О. В. Чулєєва, В. М. Золотарьов

Визначення впливу модифікатора та особливості спрямованого регулювання фізико-механічних властивостей пожежобезпечних матеріалів на основі олефінових полімерів для кабельної промисловості. Дослідження фізико-механічних властивостей полімерних композицій проводили на розривній машині. Досліджено вплив кількості модифікатора на підвищення фізико-механічних властивостей полімерних композицій КЕВ. Ці показники зберігаються більше ніж на 80 % після старіння для всіх експериментальних зразків. Показано ефективність спрямованого регулювання фізико-механічних властивостей пожежобезпечних композицій КЕВ за допомогою структурного модифікатора. Результати досліджень дають можливість швидко скорегувати рецептуру композицій

Ключові слова: модифікатор, кополімер етилену з вінілацетатом, наповнювачі-антипірени, фізико-механічні властивості, кисневий індекс

1. Вступ

Полімерні композиційні матеріали широко використовують в виробництві кабельної продукції [1]. Незважаючи на прогрес в сфері полімерного матеріалознавства, необхідно удосконалювати матеріали та технології переробки полімерів. Необхідно створювати матеріали спеціального призначення, які задовольняють специфічним експлуатаційним потребам – не розповсюдження горіння та відсутність в складі матеріалу галогенів.

Розробка таких композицій є особливо актуальною під час вирішення проблеми пожежонебезпечності кабелів, в зв'язку з все частішими в останній час випадками пожеж в місцях великих скупчень людей, причиною яких було займання ізоляції кабелів. Тому суттєво підвищилися вимоги щодо пожежної безпеки кабелів. Якщо раніше достатньо було лише нерозповсюдження полум'я, то сьогодні також необхідно знижувати виділення диму та токсичність продуктів горіння.

Отже, виробники полімерних композиційних матеріалів постійно стикаються з питанням вибору наповнювача, що виконує роль антипірену. На європейському ринку спостерігається стійка тенденція прискореного зросту споживання безгалогенних кабельних композицій. Принцип створення рецептур безгалогенних кабельних композицій базується на підвищенні кисневого індексу до значення 35–40. Це досягається за рахунок введення в базовий полімер антипіренів – гідроксидів металів. Промислово використання отримали гідроксиди алюмінію $Al(OH)_3$ та магнію $Mg(OH)_2$, синтетичного та природного походження, гідромагnezити.

Наповнювачі-антипірени істотно впливають на зниження фізико-механічних властивостей. Тому дослідження способів їх регулювання, враховуючи хімічний склад, дисперсність наповнювачів-антипіренів і властивості полімерної матриці, є актуальною проблемою.

2. Аналіз літературних даних

Аналіз літературних даних демонструє, що одним із засобів зниження горючості полімерних мате-

ріалів на основі поліолефінів є введення до полімерної композиції наповнювачів-антипіренів [2]. Зокрема тригідратів оксиду алюмінію, дигідратів оксиду магнію [3].

Для вирішення складної проблеми захисту кабельних трас від пожеж впродовж останнього десятиліття в промислово розвинених країнах широко використовують кабелі нового покоління. Серії HF, FR, LS з ізоляцією та оболонкою з полімерних композицій, в складі яких відсутні галогени. За рахунок цього вони демонструють знижене димогазовиділення. В цих композиціях в процесі ендотермічної реакції, яка спостерігається в умовах впливу вогню, відбувається дегідратація з виділенням води. Крім того, окисли металів, які утворюються під час цієї реакції, створюють додатковий ізолюючий шар, внаслідок чого місце займання, що виникло на кабелі, не має змоги до поширення далі та поступово загасає [4].

Поліолефіни використовують як полімерну матрицю таких композицій, а в якості антипіренів – неорганічні наповнювачі – тригідрати оксиду алюмінію, дигідрати оксиду магнію, гідромагnezити.

Цьому напрямку присвячено велику кількість досліджень, які детально розглянуто нижче. Вивчали вогнетривкі властивості композиційних матеріалів, базовим полімером в яких є LDPE/EVA. В якості наповнювачів-антипіренів використовували гідроксиди металів (гідроксид магнію та тригідрат оксиду алюмінію). Вогнетривкі властивості оцінювали за горизонтальним горінням та за кисневим індексом [5].

Досліджено вогнестійкість кополімеру етилену з вінілацетатом, який наповнювали гідроксидами металів (тригідратом оксиду алюмінію та дигідратами оксиду магнію) та діоксидом кремнію. Було відзначено, що кремнезем забезпечує перевагу, якщо кількість та інші властивості наповнювачів сприяють утворенню захисного мінерального шару [6].

Вивчали можливість використання гідроксиду магнію, борату цинку, та сумісну дію, як інгібітору горіння поліпропіленового волокна. Показана ефективність використання бората цинку. Використання гідроксиду магнію є малоефективним. Перевірялись теплові, механічні та морфологічні властивості [7].

Проводились дослідження впливу гідроксиду магнію та наноглини на уповільнення горіння кополімеру етилену з вінілацетатом (КЕВ). Дослідження проводились з використанням методів визначення кисневого індексу, калориметричних методів аналізу. Результати досліджень показали ефективність заміни гідроксиду магнію та гідроксиду алюмінію в композиціях КЕВ на 1–2 % наноглини [8].

Було встановлено, що забезпечення кращої безпеки електричного обладнання та пристроїв потребує застосування композиційних матеріалів, що не підтримують горіння. Досягнути цієї мети вдається завдяки високому ступеню наповнення полімерної матриці. Наповнення здійснюється гідратами металів. Високий ступень наповнення призводить до втрати гнучкості та до низьких механічних властивостей. Крім того, ускладнюється переробка [9].

3. Мета та задачі дослідження

Метою дослідження є вивчення особливостей спрямованого регулювання фізико-механічних влас-

тливостей пожаробезпечних композиційних матеріалів кополімерів етилену з вінілацетатом в залежності від хімічного та фракційного складу наповнювачів-антипіренів та кількості модифікатора.

Для досягнення мети були поставлені наступні задачі:

- дослідити закономірності зміни фізико-механічних властивостей полімерних композицій від властивостей наповнювачів та кількості модифікатора;
- встановити зміну фізико-механічних властивостей полімерних композицій після старіння.

4. Матеріали та обладнання для вивчення вогнестійкості та фізико-механічних властивостей

Досліджували кополімери етилену з вінілацетатом (КЕВ), характеристики яких наведено в табл. 1, а також наповнювачі-антипірени, в якості яких використовували тригідрати оксиду алюмінію, дигідрати оксиду магнію, суміш магнезиту та гідромагнезиту. Характеристики наповнювачів-антипіренів наведено в табл. 2.

Таблиця 1

Характеристики КЕВ

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	Al(OH) ₃		Mg(OH) ₂		Mg ₅ (CO ₃) ₄ (OH) ₂ ·4H ₂ O; Mg ₃ Ca(CO ₃) ₄
	Зразок № 1	Зразок № 2	Зразок № 3	Зразок № 4	Зразок № 5
Масова доля, %:					
– Mg(OH) ₂	–	–	>93	>93,2	98,96
– Al(OH) ₃	>99,2	>99,5	–	–	–
– SiO ₂	<0,05	<0,1	<0,05	2,2±0,2	0,67
– Fe ₂ O ₃	<0,035	<0,03	<0,3	0,12±0,02	0,04
– Na ₂ O	<0,6	<0,4	<0,05	–	<0,05
– CaO	–	–	–	2,2±0,2	–
Медіанний діаметр часточок, мкм:					
– середній (D ₅₀)	1,5	3	3	3,7	1,4
– макс. (D ₉₈)	3,6	18	20	12,5	8,35
– мін. (D ₁₀)	0,5	1	1	1,1	1,02

В якості модифікатора використовували аміносилан (N- (3-триметоксисилан) пропилбутиламін). Характеристики модифікатора наведені в табл. 3.

Таблиця 3

Характеристики модифікатора

Показатель	Значение
Густина, кг/м ³ , 20 °С	947
Динамічна в'язкість, МПа·с, 20 °С	2,5
Температура кипіння, °С	260

Експериментальні зразки полімерних композицій КЕВ з різним відсотком наповнювача-антипірену та модифікатора в складі кожної композиції виготов-

лено вальцевим методом за температури (443±5) К впродовж (7–10) хв. Вальці мають фрикцію 1,5.

Інгредієнти полімерних композицій зважували на вагах з точністю до 0,001 г та послідовно завантажували на вальці. Температура робочого валка (443±5) К. Температура холодного валка (438±5) К. Зразки вальцювали 3 хвилини на зазорі 0,4 мм–0,5 мм. Потім зазор корегували до 2 мм. В процесі вальцювання періодично підрізали не менше ніж 2 рази за хвилину. Останню хвилину вальцювали без підрізів.

Зразки кондиціювали за температури (293±2) К не менше ніж 24 години.

Для проведення випробувань на вогнестійкість та фізико-механічних досліджень полімерних компо-

зицій їх піддавали пресуванню за температури (443 ± 5) К. Товщина зразків 4 мм та 2 мм відповідно.

Дослідження вогнестійкості виконували методом кисневого індексу (KI). Кисневий індекс – мінімальна об'ємна кількість кисню в киснево-озотній суміші за значення якого можливо свічкоподібне горіння матеріалів в умовах спеціальних випробувань, яку виражено у відсотках [10]. Визначення кисневого індексу проводили за допомогою спеціальних вимірювальних приладів, в яких горіння матеріалу, що випробовують, здійснюється в киснево-азотній суміші, склад якої контролюється, за атмосферним тиском та за нормальної температури. Тобто, значенням кисневого індексу є мінімальна концентрація кисню в потоці киснево-азотної суміші, за якої спостерігається самостійне горіння вертикально розташованого зразку, який запалюють зверху згідно з EN ISO 4589-2:1999 Plastics – Determination of burning behavior by oxygen index. Кисневий індекс (KI) у відсотках визначали за формулою:

$$KI = \frac{V_1}{V_1 + V_2} \cdot 100,$$

де V_1 – об'ємна витрата кисню $\text{см}^3/\text{с}$; V_2 – об'ємна витрата азоту $\text{см}^3/\text{с}$.

Похибка засобів вимірювання концентрації кисню в потоці суміші, не більше ніж $\pm 1\%$.

Дослідження фізико-механічних властивостей полімерних композицій (міцність під час розривання, відносне видовження під час розривання, модуль

пружності під час розривання) проводили згідно EN 60811-501:2012 Electric and optical fibre cables. Test methods for non-metallic materials. Part 501. Mechanical tests. Test for determining the mechanical properties of insulating and sheathing compounds.

Швидкість руху затискачів розривної машини впродовж визначення міцності під час розривання та відносного видовження під час розривання мала значення 50 мм/хв.

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, визначеного за формулою [11]:

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

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

5. Результати досліджень

Вогнестійкі властивості полімерних композицій, які наповнено тригідратами оксиду алюмінію, дигідратами оксиду магнію, гідромагnezитами оцінювали методом кисневого індексу. Змінювали склад наповнювачів в композиціях від 40 мас. % до 60 мас. %. Визначали, як залежить кисневий індекс від кількості наповнювача-антипірену. Результати досліджень наведено на рис. 1, 2.

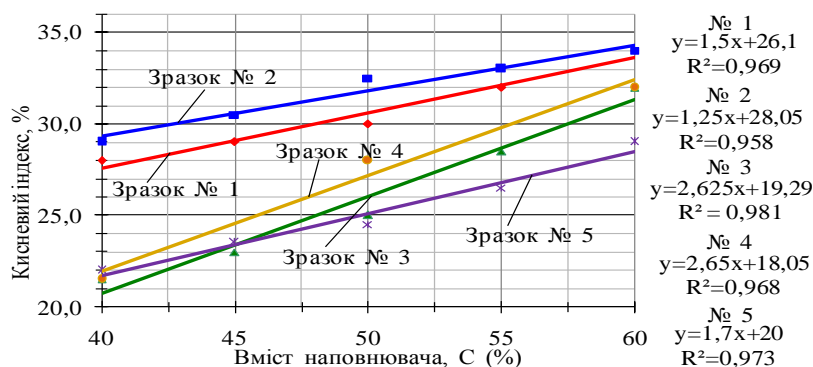


Рис. 1. Залежність KI від вмісту наповнювача-антипірену (Зразок № 1–5) в полімерних композиціях на основі КЕВ 1

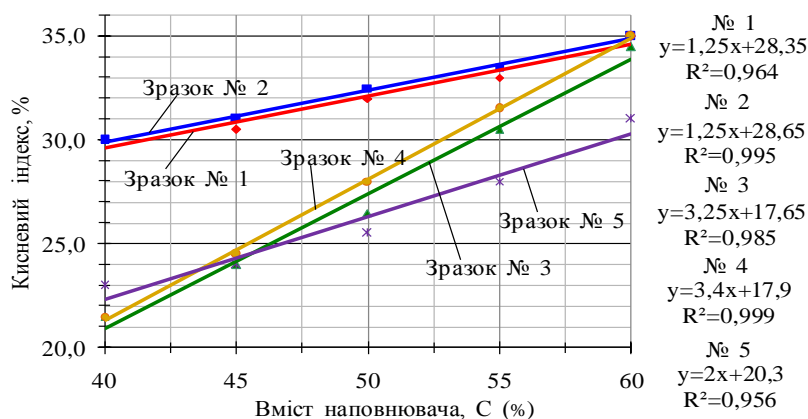


Рис. 2. Залежність KI від вмісту наповнювача-антипірену (Зразок № 1–5) в полімерних композиціях на основі КЕВ 2

Дослідження фізико-механічних властивостей проводили на полімерних композицій з вмістом наповнювачів-антипіренів 60 мас. %. Вміст модифікатора змінювали від 0 до 0,8 мас. %.

Руйнуюче напруження під час розривання визначали за формулою [12]:

$$\sigma_p = \frac{P_p}{S}, S = a \cdot d,$$

де σ_p – значення руйнуючого напруження, МПа; P_p – навантаження під час розривання, Н; S – площа попе-

речного перерізу, мм²; a – ширина робочої частини лопатки, мм; d – товщина робочої частини лопатки, мм;

Відносне видовження під час розривання визначали за формулою [12]:

$$\varepsilon_0 = \Delta l_{op} / l_0 \cdot 100,$$

де ε_0 – відносне видовження, %; Δl_{op} – зміна розрахункової довжини зразка в момент розривання, мм; l_0 – розрахункова довжина, мм.

Результати експериментів надано на рис. 3–10.

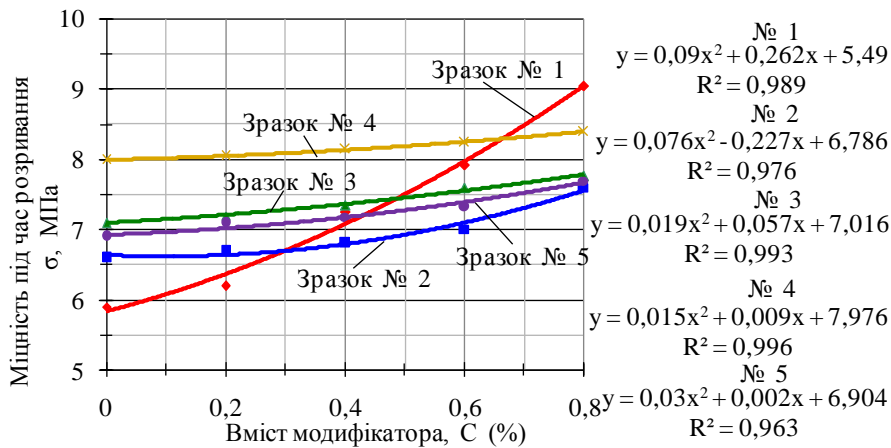


Рис. 3. Залежність міцності під час розривання полімерних композицій на основі КЕВ 1 від вмісту модифікатора (наповнювачі-антипірени № 1–5)

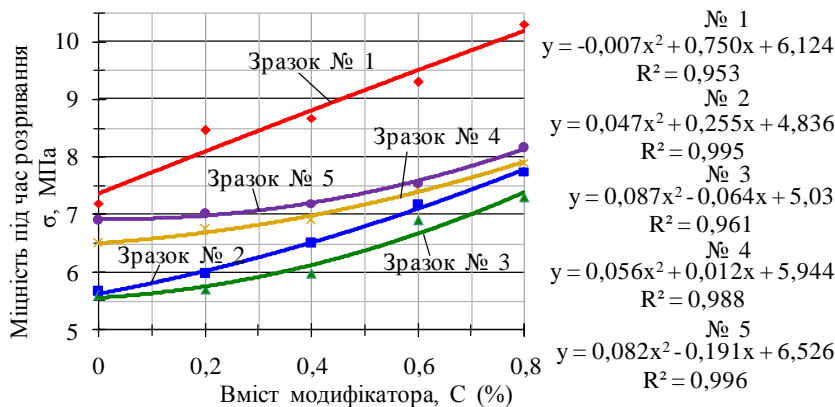


Рис. 4. Залежність міцності під час розривання полімерних композицій на основі КЕВ 2 від вмісту модифікатора (наповнювачі-антипірени № 1–5)

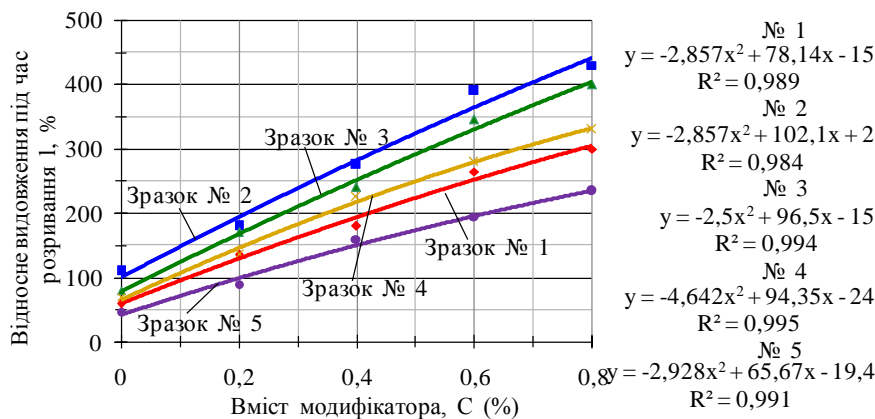


Рис. 5. Залежність відносного видовження під час розтягування полімерних композицій на основі КЕВ 1 від вмісту модифікатора (наповнювачі-антипірени № 1–5)

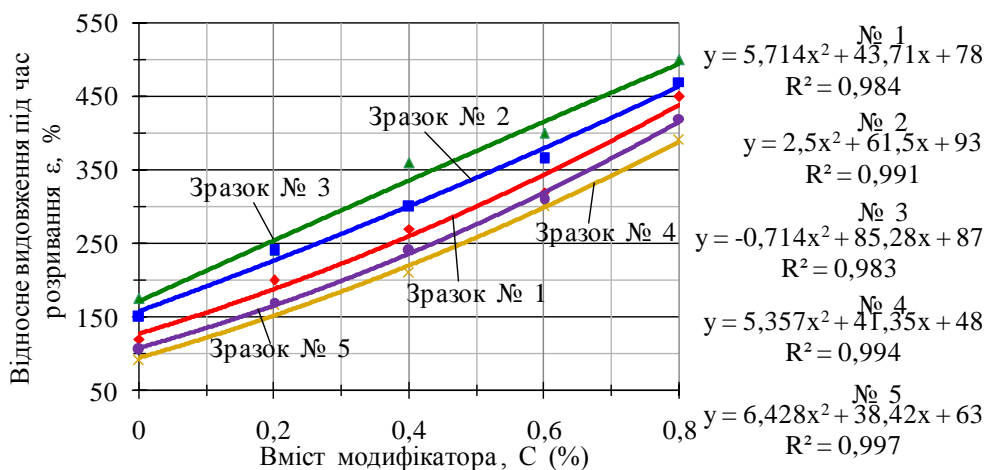


Рис. 6. Залежність відносного видовження під час розтягування полімерних композицій на основі КЕВ 2 від вмісту модифікатора (наповнювачі антипірени № 1–5)

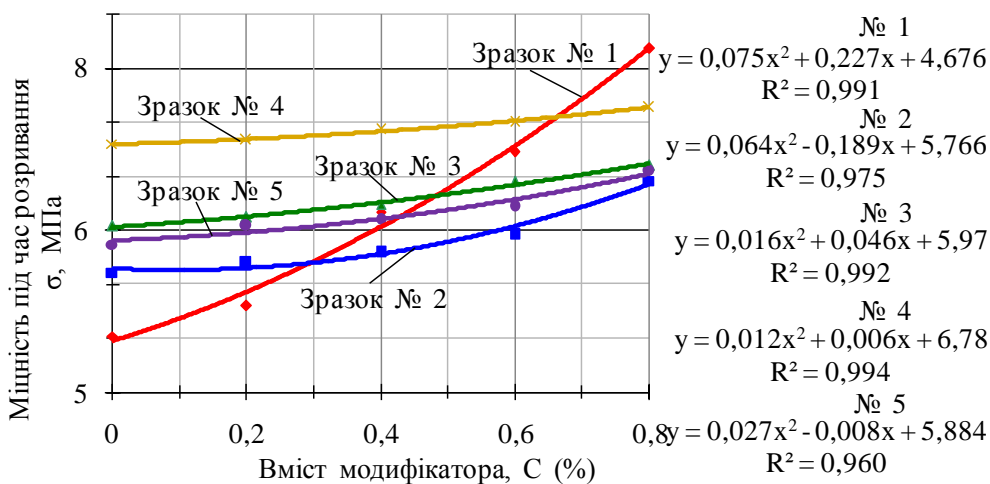


Рис. 7. Залежність міцності під час розривання полімерних композицій на основі КЕВ 1 від вмісту модифікатора (наповнювачі-антипірени № 1–5) після старіння

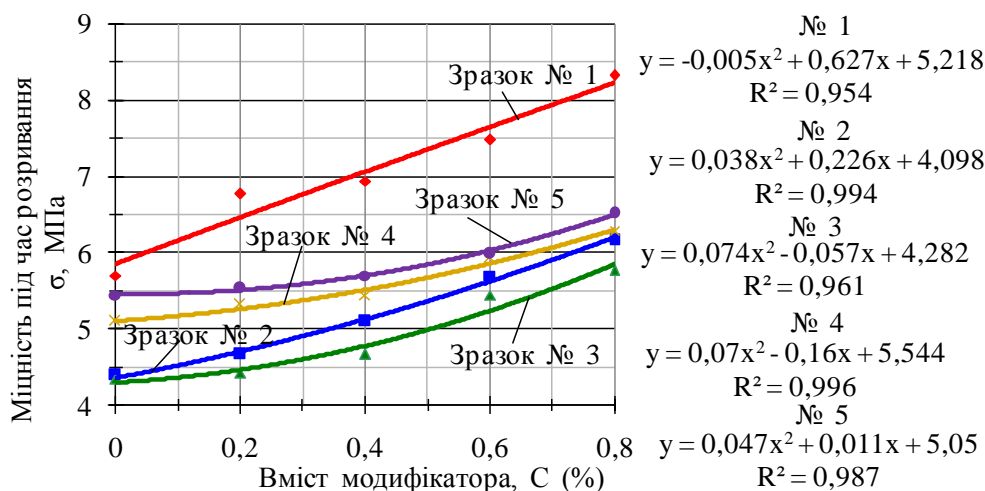


Рис. 8. Залежність міцності під час розривання полімерних композицій на основі КЕВ 2 від вмісту модифікатора (наповнювачі-антипірени № 1–5) після старіння

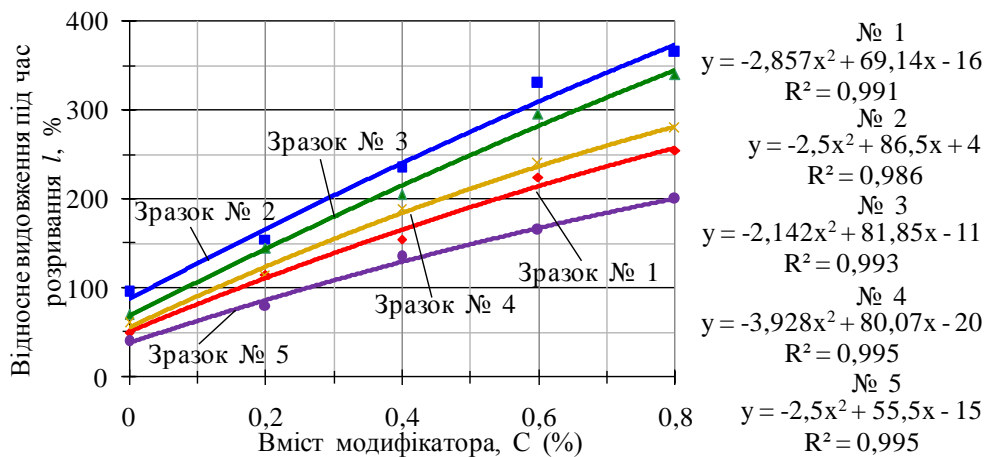


Рис. 9. Залежність відносного видовження під час розтягування полімерних композицій на основі КЕВ 1 від вмісту модифікатора (наповнювачі-антипірени № 1–5) після старіння

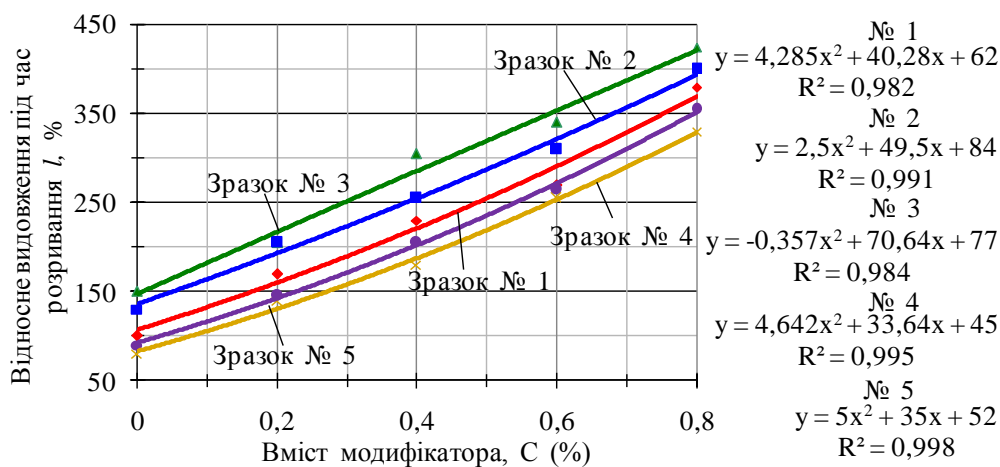


Рис. 10. Залежність відносного видовження під час розтягування полімерних композицій на основі КЕВ 2 від вмісту модифікатора (наповнювачі антипірени № 1–5) після старіння

Модуль пружності під час розтягування (E_p) визначали за формулою, згідно ГОСТ 9550-81 «Пластмассы. Методы определения модуля упругости при растяжении, сжатии и изгибе»:

$$E_p = \frac{(F_2 - F_1) \cdot l_0}{A_0 \cdot (\Delta l_2 - \Delta l_1)}$$

де F_2 – навантаження, що відповідає відносному видовженню 0,3 %; F_1 – навантаження, що відповідає відносному видовженню 0,1 %; l_0 – розрахункова довжина зразка; A_0 – площа вихідного поперечного перерізу зразка, мм²; Δl_2 – видовження, що відповідає навантаженню F_2 , мм; Δl_1 – видовження, що відповідає навантаженню F_1 , мм.

Результати досліджень наведено на рис. 11, 12.

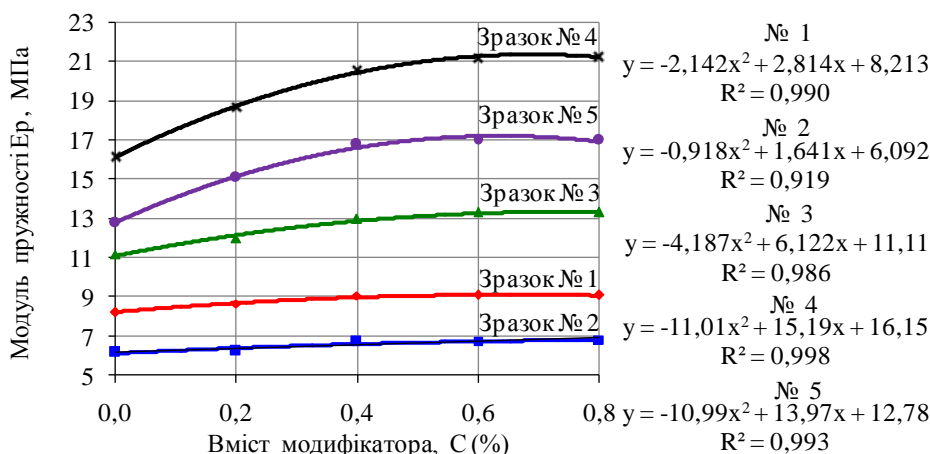


Рис. 11. Залежність модуля пружності полімерних композицій на основі КЕВ 1 від вмісту модифікатора (наповнювачі антипірени № 1–5)

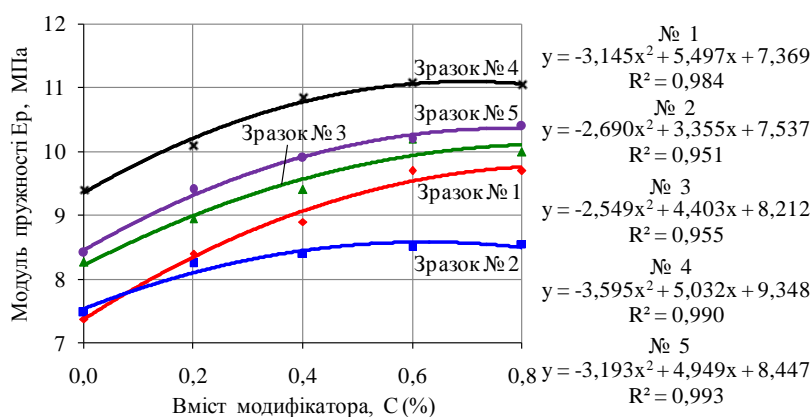


Рис. 12. Залежність модуля пружності полімерних композицій на основі КЕВ 2 від вмісту модифікатора (наповнювачі антипірени № 1–5)

Результати досліджень, які наведено на рис. 11, 12 вказують на підвищення значення модуля пружності зі збільшенням вмісту модифікатора для всіх композицій.

6. Обговорення результатів дослідження вогнестійкості та фізико-механічних властивостей полімерних композицій

Вогнестійкість полімерних композицій КЕВ 1 та КЕВ 2 які наповнено антипіренами (Зразок № 1–5) визначали методом кисневого індексу. Результати досліджень, які наведено на рис 1, 2, показують, що кисневий індекс підвищується зі збільшенням вмісту наповнювачів-антипіренів для всіх полімерних композицій. Слід зазначити, що кисневий індекс полімерних композицій КЕВ 2 підвищується ефективніше ніж полімерних композицій КЕВ 1. Полімерні композиції КЕВ 2 мають вміст вінілацетату 28 % та показник плинності розплаву 2,5 г/10 хв. Полімерні композиції КЕВ 1 мають вміст вінілацетату 18 % та показник плинності розплаву 1,8 г/10 хв. Тобто вміст вінілацетату та показник плинності розплаву впливають на значення кисневого індексу. Продукти деградації полімерної матриці також впливають на процес уповільнення горіння полімерних композицій.

Якщо порівнювати кисневі індекси полімерних композицій з різними наповнювачами-антипіренами, то більш ефективними є тригідрати оксиду алюмінію (Зразок № 1, № 2). Водночас кисневий індекс полімерної композиції, який наповнено антипіреном Зразок № 1, більший ніж антипіреном Зразок № 2. Проміжне значення кисневого індексу мають полімерні композиції, які наповнено дигідратом оксиду магнію (Зразок № 3, № 4), із них більш ефективний Зразок № 3. Тобто наповнювачі-антипірени тригідрат оксиду алюмінію і дигідрат оксиду магнію, які мають менший середній діаметр часточок, є більш дієвішими сповільнювачами горіння полімерних композицій. Найменшу ефективність як антипірен виявляє гідромагnezит (Зразок № 5).

Згідно з [13] вміст кисню в повітрі складає близько 21 об'ємних %, тому матеріали, які горять в атмосфері повітря, мають кисневий індекс (КІ) нижче ніж 21 %. Полімерні матеріали, які мають КІ < 20 % в атмосфері повітря горять швидко. В матеріалів з КІ від 20 % до 27 % горіння в атмосфері повітря відбу-

вається повільно. Полімерні матеріали визнають важкогорючими та є самозгасаючими, КІ яких за умови припинення дії вогню, перевищує 27 %. Таким чином, за результатами досліджень важкогорючими є полімерні композиції на основі КЕВ 1 з наступним вмістом антипіренів:

- від 40 мас % до 60 мас % антипірену Зразок № 1;
- від 45 мас % до 60 мас % антипірену Зразок № 2;
- від 48 мас % до 60 мас % антипірену Зразок № 3;
- від 52 мас % до 60 мас % антипірену Зразок № 4;
- від 57 мас % до 60 мас % антипірену Зразок № 5.

Під час створення важкогорючих полімерних композицій на основі КЕВ 2 вміст антипіренів має бути наступним:

- від 40 мас % до 60 мас % антипірену Зразок № 1 та Зразок № 2;
- від 47 мас % до 60 мас % антипірену Зразок № 3;
- від 48 мас % до 60 мас % антипірену Зразок № 4;
- від 50 мас % до 60 мас % антипірену Зразок № 5.

Аналізуючи результати до старіння (рис. 3–6), встановлено закономірність зміни фізико-механічних властивостей. Введення модифікатора значно впливає на значення руйнуючого напруження та відносного видовження під час розривання, модуля пружності під час розтягування. Спостерігається різна зміна руйнуючого напруження в залежності від хімічного складу, дисперсності та вмісту модифікатора в полімерній композиції.

Руйнуюче напруження для полімерних композицій КЕВ 1 з максимальним вмістом модифікатора (0,8 %) збільшується на:

- 61 % під час використання антипірену Зразок № 1
- 15 % під час використання антипірену Зразок № 2
- 8,4 % під час використання антипірену Зразок № 3
- 5 % під час використання антипірену Зразок № 4
- 11,5 % під час використання антипірену Зразок № 5

Для полімерних композицій КЕВ 2 з максимальним вмістом модифікатора (0,8 %) руйнуюче напруження збільшується відповідно на:

- 48 % під час використання антипірену Зразок № 1
- 38 % під час використання антипірену Зразок № 2
- 33 % під час використання антипірену Зразок № 3
- 23 % під час використання антипірену Зразок № 4
- 20 % під час використання антипірену Зразок № 5

Таким чином під час використання тригідрата оксиду алюмінію (Зразок 1) та дигідрата оксиду магнію

(зразок 3) з меншим середнім діаметром часточок, значення руйнуючого напруження збільшується значніше порівняно з антипіренами з більшим середнім діаметром часточок (зразок 3, 4). Така сама тенденція спостерігається і після старіння полімерних композицій. При цьому слід відмітити що руйнуюче напруження зберігається більше ніж на 80 %, що відповідає вимогам стандартів.

Модуль пружності всіх полімерних композицій зростає, якщо вміст модифікатора збільшується. Але найбільші значення він має в композиціях на основі КЕВ 1, а також під час використання антипіренів (Зразки № 3, № 4, № 5).

Відносне видовження під час розривання всіх полімерних композицій збільшується з підвищенням вмісту модифікатора та має більше значення для полімерних композицій на основі КЕВ 1.

Відносне видовження для полімерних композицій КЕВ 1 з максимальним вмістом модифікатора (0,8 %) збільшується в:

- 5 разів під час використання антипірену Зразок № 1
- 3,9 рази під час використання антипірену Зразок № 2
- 5 разів під час використання антипірену Зразок № 3
- 4,7 рази під час використання антипірену Зразок № 4
- 5 разів під час використання антипірену Зразок № 5

Для полімерних композицій КЕВ 2 з максимальним вмістом модифікатора (0,8 %) відносне видовження збільшується відповідно в:

- 3,75 рази під час використання антипірену Зразок 1
- 3,3 рази під час використання антипірену Зразок № 2

2,85 рази під час використання антипірену Зразок № 3

4,12 рази під час використання Зразок № 4

4,2 разів під час використання Зразок № 5

Відносне видовження під час розтягування полімерних композицій після старіння зберігається більше ніж на 80 %.

Дані дослідження показали вплив на вогнестійкість та фізико-механічні властивості полімерних композицій на основі КЕВ модифікатора та таких наповнювачів, як тригідрати оксиду алюмінію, дигідрати оксиду магнію, гідромагнетитів. Проведення такого комплексу досліджень дозволяє продемонструвати можливість регулювання експлуатаційних характеристик полімерних композицій на основі КЕВ, які не підтримують горіння за використанням модифікації полімерних композицій.

6. Висновки

1. Використання модифікатора чинить вплив на підвищення фізико-механічних властивостей пожегобезпечних полімерних композицій на основі КЕВ. Встановлено, що зі збільшенням вмісту модифікатора підвищуються міцність під час розривання, відносне видовження під час розтягування та модуль пружності усіх полімерних композицій.

2. Впродовж старіння фізико-механічні властивості полімерних композицій знижуються. Міцність під час розривання та відносне видовження під час розтягування зберігається більше ніж на 80 %.

Література

1. Пешков И. Б. Материалы кабельного производства. М.: Машиностроение, 2013. 456 с.
2. Тирелли Д. Антипилены для композитов // The Chemical Journal. 2013. № 1-2. С. 42–45.
3. Обзор минеральных антипиленов-гидроксидов для безгалогенных кабельных композиций // Кабель-news. 2009. № 8. С. 41–43.
4. Безгалогенные огнеупорные кабели. URL: <http://www.amtenergo.ru/statji/ognestoikie-kabeli.html>
5. Effect of Amino alcohol functionalized polyethylene as compatibilizer for LDPE/EVA/clay/flame-retardant nanocomposites / Lujan-Acosta R. et. al. // Materials Chemistry and Physics. 2014. Vol. 146, Issue 3. P. 437–445. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2014.03.050>
6. Fire retardant benefits of combining aluminum hydroxide and silica in ethylene-vinyl acetate copolymer (EVA) / Sonnier R. et. al. // Polymer Degradation and Stability. 2016. Vol. 128. P. 228–236. doi: <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2016.03.030>
7. Jeencham R., Suppakarn N., Jarukumjorn K. Effect of flame retardants on flame retardant, mechanical, and thermal properties of sisal fiber/polypropylene composites // Composites Part B: Engineering. 2014. Vol. 56. P. 249–253. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2013.08.012>
8. Yen Y.-Y., Wang H.-T., Guo W.-J. Synergistic flame retardant effect of metal hydroxide and nanoclay in EVA composites // Polymer Degradation and Stability. 2012. Vol. 97, Issue 6. P. 863–869. doi: <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2012.03.043>
9. Flame retardancy and thermal degradation of intumescent flame retardant EVA composite with efficient charring agent / Feng C. et. al. // Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. 2015. Vol. 113. P. 266–273. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2015.01.021>
10. Шевченко В. Г. Основы физики полимерных композиционных материалов. М.: МГУ им. Ломоносова, 2010. 98 с.
11. Макарова Н. В., Трофимец В. Я. Статистика в Excel: уч. пос. М.: Финансы и статистика, 2002. 368 с.
12. Мухин Н. М., Бурындин В. Г. Определение реологических и физико-механических свойств полимерных материалов: метод. указ. Екаренбург: УГЛУТУ, 2011. 33 с.
13. Бобович Б. Б. Неметаллические конструкционные материалы. М.: МГИУ, 2009. 384 с.

Дата надходження рукопису 14.06.2018

Чулєєва Олена Володимирівна, кандидат технічних наук, директор науково-технічного центру, ПАТ «ЗАВОД ПІВДЕНКАБЕЛЬ», вул. Автогенна, 7, м. Харків, Україна, 61000
E-mail: echuleeva@ukr.net

Золотарьов Володимир Михайлович, доктор технічних наук, професор, генеральний директор, ПАТ «ЗАВОД ПІВДЕНКАБЕЛЬ», вул. Автогенна, 7, м. Харків, Україна, 61000
E-mail: zavod@yuzhcable.com.ua