

О.І. Аксіментьєва¹, Н.І. Доманцевич², Б.П. Яцишин³

Вплив УФ-випромінювання та атмосферних факторів на паропроникність тонкоплівкових модифікованих поліетиленових матеріалів

¹Львівський національний університет імені Івана Франка, Україна, Львів, olena.aksimentyeva@lnu.edu.ua

²Львівський торговельно-економічний університет, Україна, Львів, nina.domantzevich@gmail.com

³Національний університет "Львівська політехніка", Україна, Львів, bogdan.yatsyshyn7@gmail.com

Проведено дослідження паропроникності модифікованих поліетиленових плівок після тривалої дії УФ-випромінювання та атмосферних факторів. Встановлено залежності змін дифузійних характеристик від виду модифікуючих додатків та тривалості дії зовнішніх факторів. Показано, на основі проведення полярографічних досліджень, зменшення кількісного складу легких модифікуючих компонент модифікованої плівки при дії УФ-випромінювання.

Ключові слова: полімери, поліетилен, модифіковані плівки, УФ-випромінювання, атмосферні фактори, паропроникність, полярографія.

Подано до редакції 5.09.2021; прийнято до друку 11.04.2022.

Вступ

Використання полімерних плівкових матеріалів для потреб електронної промисловості та приладобудування пов'язане, в основному, із пакуванням та зберіганням продукції. Відповідно, характеристики та властивості таких матеріалів пакування повинні забезпечувати високу антикорозійну здатність для металевих виробів будь-яких конструкцій та комплектацій, зберігати достатньо високу механічну міцність пакування та його естетичні характеристики, а при використанні продукції – утилізацію із подальшим рециклінгом. Основними пакувальними полімерними матеріалами є поліетилен, поліпропілен та поліетилентерефталат, потреба у використанні яких визначається характеристиками та термінами зберігання продукції, а в особливих умовах зберігання – багатшаровими плівками та специфічними пакувальними конструкціями [1-3].

Основними факторами дії на електронні пристрої та металовироби під час зберігання у полімерному

пакуванні є різні види газів в атомарному чи молекулярному стані – кисень, водень, окис вуглецю, азот, їх суміші, а також пар різних органічних сполук та водяна пара. Контакт незначної кількості вищеперерахованих речовин – агентів впливу на бездефектну роботу пристроїв, приводить до активізації процесів окиснення на металевих комплектуючих, пошкодженні та перекритті струмопровідних шляхів, змін електронної структури матеріалів тощо. З цієї причини вивчення дифузійних процесів у полімерних захисних матеріалах, що застосовуються для зберігання електронної продукції, неодмінно пов'язується із забезпеченням їх високоякісної роботи та довготривалого життєвого циклу. Використання специфічних речовин (інгібіторів атмосферної корозії, пластифікаторів, наповнювачів) для покращення умов зберігання, яке набуло достатньо великого поширення, може виявляти несподівані сторони процесу, оскільки підвищення антикорозійних характеристик часто приводить до змін бар'єрних властивостей матеріалу.

Метою проведення досліджень було визначення впливу УФ випромінювання та світлопогоди на

дифузійні характеристики (паропроникність) бар'єрних полімерних модифікованих матеріалів та встановлення часу їх можливого використання при експлуатації в екстремальних умовах дії випромінювань.

I. Експериментальна частина

Поліетиленові тонкоплівкові матеріали із додатками виготовляли на промисловому рукавно-плівковому агрегаті. Вихідними матеріалами для виготовлення виробів були гранулят поліетилену низької густини ПЕНГ 15803-020. Модифікуючі добавки та деякі технологічні інгредієнти (до 4 ваг.%) вводили безпосередньо у гранулят перед екструзією, забезпечуючи найбільш можливо рівномірний розподіл модифікуючих компонент у полімерній матриці. Як інгібітори атмосферної корозії застосовували метанітробензоату гексаметилендіаміну ($\text{H}_2\text{N}-(\text{CH}_2)_6-\text{NH}_2-\text{HOOC}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{NO}_2$ (m-)) відомого під промисловою назвою Г-2, нітриту дициклогексиламіну ($\text{C}_6\text{H}_{11})_2\text{NH}-\text{HNO}_2$ – НДА. Для полегшення переробки і сприяння суміщенню інгібіторів з основою до складу полімерної матриці вводились пластифікатори дибутилфталат $\text{C}_6\text{H}_4(\text{COOC}_4\text{H}_9)_2$ – ДБФ, диоктилфталат $\text{C}_8\text{H}_4(\text{COOC}_8\text{H}_{17})_2$ – ДОФ.

Товщина полімерних плівок перебувала у діапазоні від 145 мкм до 160 мкм.

Дослідження паропроникності плівок проводили ваговим методом (метод сухої чашки), використовуючи металеві стаканчики, згідно міжнародних нормативних документів ISO 7783, ISO 2528 and ASTM D 1653 [4]. Дослідження проводилось протягом 30 днів з фіксуванням проміжних даних кожних 5 діб.

Дослідження модифікованих полімерних плівок до дії УФ-випромінювання проводилось на апараті штучної погоди ИП-1-3 з лампою ППК-2. Зразки полімерних плівок встановлювались на рамі яка оберталась навколо лампи на відстані 30 см від її центру та опромінювала протягом різних часових інтервалів. Температура на поверхні зразків підтримувалась на рівні 303 К, середня відносна вологість повітря була близька до 55 %. Крім цього, вивчалась зміна бар'єрних властивостей після впливу атмосферних факторів протягом вересня-жовтня і травня-червня (при середній добовій температурі 285,4 К і 295,4 К, і кількості опадів 113 і 206 мм). Дані дослідження не відповідали вимогам стандартів з випробовувань на вплив УФ-випромінювання та дію світлопогоди ASTM D1435 та ASTM D 4364 і проводились для визначення напрямків можливих змін властивостей модифікованих поліетиленових тонкоплівкових матеріалів під дією метеорологічних умов при відкритому складуванні, а не для прогнозування абсолютної довгострокової ефективності матеріалу.

Для полярографічних досліджень готували наважки по 0,4 г подрібненого поліетилену, який заливали 10 мл 0,25 н. лужним розчином і нагрівали в водяній бані в колбочках з зворотнім холодильником

при 373 К протягом 30 хв. Отримані витяжки охолоджували до кімнатної температури і поміщали у полярографічну комірку, проводили 10 хв. продування азотом для видалення кисню, після чого знімали полярограму від 0,4 В до 2 В.

II. Результати досліджень

Паропроникність полімерних плівок визначається у значній мірі їх структурою та складом (наявністю модифікуючих компонентів, наповнювачів, додатків), товщиною, умовами проходження дифузійних процесів (адсорбція-дифузія-десорбція), технологічними умовами виготовлення, а зразків які були в експлуатації – величиною і часом дії факторів впливу [5, 6]. До основних зовнішніх факторів впливу відносять УФ-опромінення та світлопогоду.

Первинна паропроникність немодифікованих полімерних плівок, визначена як “швидкість перенесення водяної пари”, була встановлена на рівні $\text{WVTR} = 0,24 - 0,25 \text{ мг/м}^2\cdot\text{с}$, що в перерахунку на коефіцієнт перенесення водяної пари становило $P_{\text{WV}} \approx 1,8 \text{ г}\cdot\text{мм/м}^2\cdot\text{добу}$. Витримка плівки протягом 30 діб значно знижувала та стабілізувала величину паропроникності на рівні $\text{WVTR} = 0,12 - 0,13 \text{ мг/м}^2\cdot\text{с}$ ($P_{\text{WV}} \approx 0,97 \text{ г}\cdot\text{мм/м}^2\cdot\text{добу}$, відповідно) [7].

Плівки, модифіковані інгібіторами атмосферної корозії, пластифікаторами та додатками Al, мали першопочаткову паропроникність, зазвичай, меншу, чим немодифіковані зразки – $\text{WVTR} = 0,16 - 0,21 \text{ мг/м}^2\cdot\text{с}$, а після 30-добової стабілізації – $\text{WVTR} = 0,09 - 0,13 \text{ мг/м}^2\cdot\text{с}$. Окремо виділялись плівки, в склад яких входили хімічно несумісні компоненти – амініний інгібітор та пластифікатор на основі дибутилфталату, що проявляли більшу першопочаткову паро проникність до і після 30-денної стабілізації на рівні $\text{WVTR} \approx 0,3 \text{ мг/м}^2\cdot\text{с}$.

Показник паропроникності УФ опромінених плівок може змінюватись за рахунок перебігу процесів структуроутворення під впливом внутрішніх (склад, тип і кількість додатків) та зовнішніх (інтенсивність та тривалість випромінювання, світлопогода) чинників. Опромінення УФ протягом 200 год. неодмінно приводило до незначного зростання паропроникності. Для плівок, в склад яких вводили лише один компонент – легкий інгібітор атмосферної корозії, зростання WVTR могло становити $\Delta \approx 0,07 \text{ мг/м}^2\cdot\text{с}$ (рис. 1).

Разом з тим виявляється неоднозначна залежність показника паропроникності від опромінення при модифікації компонентного складу та введенні інших додатків та наповнювачів. Спостерігалась тенденція незначного збільшення показника паропроникності при тривалій дії УФ-опромінення та сумісному впливі введеного пластифікатора ДОФ (рис. 2). Проте наявність пластифікатора ДБФ приводила до інтенсивного збільшення показника паропроникності при 200 год. УФ опромінення. Натомість наявність у плівці пластифікатора ДОФ, інгібітора Г-2 та алюмінієвого

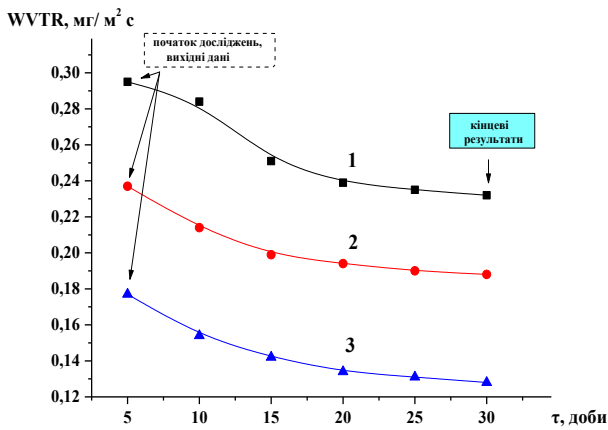


Рис. 1. Паропроникність полімерних плівок після дії УФ-опромінення протягом 200 год.: 1 – ПЕНГ; 2 – ПЕНГ + 0,5 ваг. % Г-2; 3 – ПЕНГ + 1,0 ваг.% НДА.

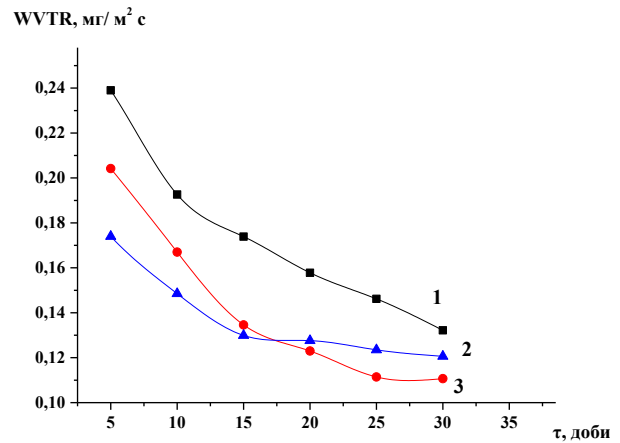


Рис. 3. Зміни паропроникності полімерних плівок після дії атмосферних факторів протягом осіннього періоду: 1 – ПЕНГ; 1 – ПЕНГ + 1,0 ваг. % НДА; 3 – ПЕНГ + 0,5 ваг. % Г-2 + 0,5 ваг.% ДОФ + 0,25 ваг. % АІ

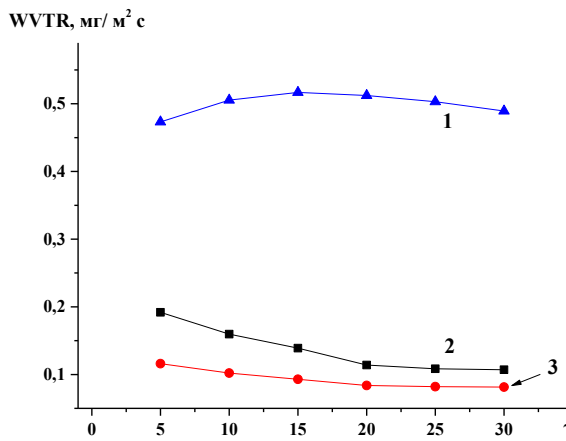


Рис. 2. Зміни паропроникності полімерних плівок після дії УФ-опромінення протягом 200 год.: 1 – ПЕНГ + 1,0 ваг. %Г-2 + 0,2 ваг.% ДБФ; 2 – ПЕНГ + 1,0 ваг. %Г-2 + 0,5 ваг.% ДОФ + 0,25 ваг. % АІ; 3 – ПЕНГ + 2,5 ваг. %Г-2 + 0,2 ваг.% ДБФ + 0,25 ваг. % АІ.

наповнювача призводить до незначного збільшення паропроникності навіть при більших термінах опромінення (до 500 год.).

Проведення досліджень з'ясування впливу певних факторів представляло необхідність, так як ці показники визначають зміни захисних властивостей досліджуваних протикорозійних полімерних плівок в умовах відкритого складування. Отримані результати свідчать, що під впливом зовнішніх факторів у вересні-жовтня відбувається підвищення паропроникності (рис. 3). Для полімерних плівок з модифікуючими компонентами показник WVTR залишається нижче, ніж у не модифікованої поліетиленової плівки, свідчить про незначний позитивний вплив модифікаторів на підвищення бар'єрних характеристик полімерної матриці. Наявність у полімерній плівці комплексу модифікаторів (пластифікатора ДОФ, інгібітора Г-2 та наповнювача АІ) більш ефективно знижує швидкість проникнення пари крізь покриття,

величина показника WVTR є набагато нижчою, ніж у немодифікованої плівки, що були піддані дії осінньої світлопогоди протягом двох місяців.

Аналогічні дослідження із впливу зовнішніх факторів протягом травня-червня показало зростання паропроникності полімерних плівок. Проте у полімерних плівок з інгібітором корозії НДА ця величина змінюється незначно (рис. 4).

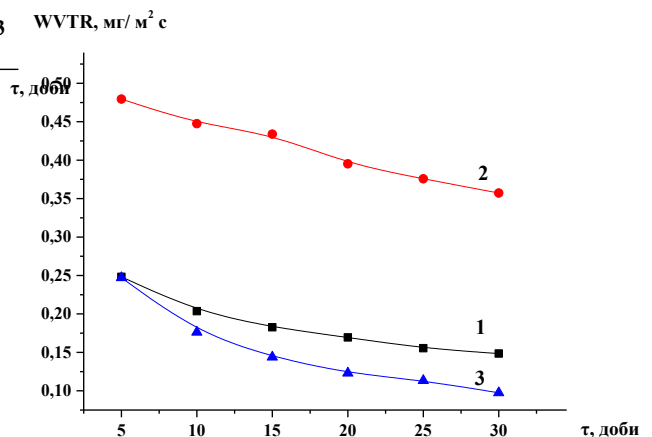


Рис. 4. Зміни паропроникності полімерних плівок після дії атмосферних факторів протягом весняного періоду: 1 – ПЕНГ; 2 – ПЕНГ + 1,0 ваг. % Г-2 + 0,2 ваг. % ДБФ; 3 – ПЕНГ + 2,0 ваг. % НДА.

Натомість, при поєднання у плівці інгібітора Г-2 та пластифікатора ДБФ відбувається зростання величини паропроникності. Подібні зміни показника WVTR спостерігались для плівки даного складу при дії УФ-опромінення (рис. 2).

Загалом, встановлено, що для поліетиленових плівок, які були піддані УФ-опроміненню протягом 200 год. паропроникність зростає (рис. 5).

Вплив УФ-опромінення протягом тривалого часу (більше 50 год.) призводить до збільшення показника паропроникності полімерних плівок, що

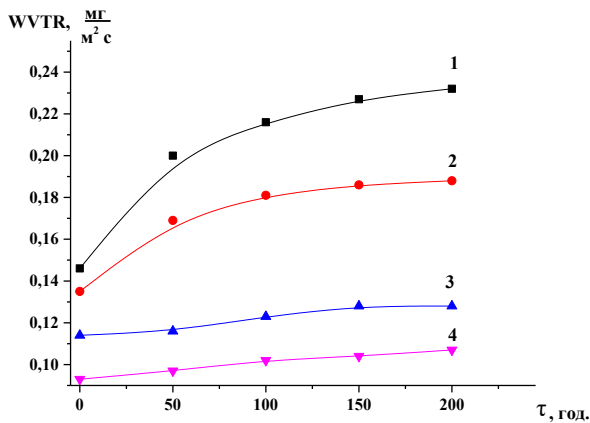


Рис. 5. Паропроникність модифікованих полімерних плівок від тривалості УФ-опромінювання (кінцеві вимірювання на 30 день стабілізації): 1 – ПЕНГ; 2 – ПЕНГ + 0,5 ваг.% НДА; 3 – ПЕНГ + 0,5 ваг.% Г-2; 4 – ПЕНГ + 0,5 ваг.% Г-2 + 0,5 ваг.% ДОФ + 0,25 ваг.% Al.

обумовлюється об'єднаним протіканням процесів, що загалом, мають різну направленість по відношенню до змін паропроникності. Проте, якщо для немодифікованих зразків показник WVTR зростає на 46 %, то для модифікованих – в середньому на 9 – 6 % в залежності від вмісту модифікуючих компонентів (окрім плівок із пластифікатором ДБФ).

Обговорення результатів досліджень

Аналізуючи дані досліджень впливу УФ-опромінювання можна констатувати, що наявність в плівці інгібіторів корозії призводить до зниження показника паропроникності (рис. 5, крива 2 і 3). Ще більше мірою на зниження показника WVTR впливає присутність у складі модифікованої плівки (поряд з з інгібітором корозії і пластифікатором) алюмінієвого наповнювача (рис. 5, крива 4).

Оцінювання дифузійних процесів модифікованих полімерних плівок проводиться, в першу чергу, по тому модифікуючому компоненту, який в кінцевому приводить до суттєвих змін. Для полімерних плівок з мінеральними наповнювачами це зміни структури і зростаюча у часі дефектність по лінії розмежування "полімер-наповнювач", а також першопочаткове зниження проникності пенетранту з-за загального зниження коефіцієнта дифузії композиту (порівняно з чистим полімером). У плівках з органічними додатками (а також органічними ініціаторами різних процесів) на провідну роль у зміні проходження проникнення пенетранту відіграють ряд різнопланових процесів, що описують весь шлях проникнення пенетранту – від адсорбції через дифузію до десорбції [5, 6]. Закономірності протікання таких процесів на рівні адсорбції достатньо задовільно описуються законом Генрі і теоретичними роботами ряду авторів і відомі під назвою БЕТ-теорії (BET theory), яка отримала назву від початкових букв прізвищ її авторів – Брунауера, Еммета і Теллера (Brunauer S., Emmet P.H., Teller E.) [8, 9]. Вже на рівні розгляду адсорбції було показано наскільки важливо враховувати взаємодію пенетранту чи органічного додатку із полімерною матрицею і передбачати протікання процесів проникнення. У

свою чергу можна завбачити, що взаємодія органічного додатку із полімерною матрицею може набагато ефективніше змінювати дифузійні процеси. Вплив органічних додатків на полімерну матрицю може мати певну невизначеність по проходженню дифузійних процесів. Будь-яка хімічна взаємодія додатку і матриці приводить до перерозподілу кількості аморфної та кристалічної фаз у полімері (кристалічна фаза має, зазвичай, менший коефіцієнт дифузії). Крім цього, під дією органічних додатків може виникнути пластифікація, що приводить до зміни гнучкості полімерних ланок. Проте додатки відомих пластифікаторів можуть також чинити різний вплив на дифузійні процеси у полімерній матриці. Навіть незначна кількість пластифікатора може як полегшувати проходження пенетранту за рахунок збільшення гнучкості полімерних ланок, так і зменшувати можливість проникнення атомів газу чи молекул за рахунок блокування шляхів проходження (що характерно для пластифікованих зразків, підданих старінню).

Всі вищеписані процеси набирають незвичних форм виявлення у модифікованих полімерних тонкоплівкових структурах при дії зовнішніх чинників – УФ-випромінювання та світлопогоди. Адже при такій експлуатації чи дослідженнях обов'язково додатково виявляються процеси інтенсивного випаровування компонентів із полімерної матриці, розширення та витікання додатків через пори, тріщини і канали (що носить двоякий характер щодо паро проникності – збільшений об'єм додатку може "забивати" шляхи проходження пенетранту і, як наслідок, зменшувати показник WVTR, або, в іншому випадку, за інтенсивного фазового перетворення додатків – збільшувати розмір пор і отворів, що приводило б до зростання паропроникності. Крім цього, на це все неодмінно накладаються процеси старіння самої полімерної матриці зі зміною фазового складу і збільшенням структурних дефектів [10-12].

Для визначення змін у модифікованій полімерній матриці під дією УФ-опромінювання були проведені полярографічні дослідження вмісту інгібітора атмосферної корозії, що вводився як чинник захисної антикорозійної дії покриття [13]. Встановлено, що зменшення вмісту інгібітора Г-2 відбувалось протягом перших 100 годин УФ-опромінювання. Надалі зменшення вмісту в плівці інгібітора у плівці протікає менш інтенсивно (табл. 1).

Наслідком зменшення вмісту інгібіторів корозії в плівці при тривалій дії УФ-опромінювання є погіршення її структури, зростання показника WVTR, хоча мінімально необхідні бар'єрні та захисні властивості плівки зберігаються.

На жаль при визначенні паропроникності за зміною світлопогоди нема такого однозначного спрощення у трактуванні результатів вимірювань, як при дії УФ-опромінювання – накладаються додаткові фактори впливу як дія вітру, опадів, що приводить до посилення дефектності структури матриці з-за вимивання та вивітрювання компонент.

Таблиця 1

Поляррографічне визначення змін речовини у плівці ПЕНГ + 0,5% Г-2, яка була піддана УФ-опроміненню.

Час УФ-опромінення, год.	Висота поляррографічної хвилі, см	Група, що визначається	Вміст груп, що поляррографічно визначаються, в 1 г поліетилену, мг
0	64	гексаметилендіамін	$3,2 \cdot 10^{-3}$
100	17	гексаметилендіамін	$8,5 \cdot 10^{-4}$
200	14,5	гексаметилендіамін	$7,2 \cdot 10^{-4}$
300	12	гексаметилендіамін	$6,0 \cdot 10^{-4}$

Проте прослідковуються деякі закономірності, які властиві і для модифікованих плівок, підданих дії УФ-опромінення. Перш за все, це незначне збільшення паропроникності більшості модифікованих плівок, що пов'язано із зростанням загальної кристалічності зразків. Попередні структурні дослідження підтверджують таку тезу, а також вказують на наступний хід залежності – різке зростання паропроникності з-за катастрофічного руйнування модифікованої плівки, викликаного дією додатків, зовнішніми факторами та процесами старіння [12].

Крім цього, було встановлено, що дія УФ-випромінювання на немодифікований поліетилен приводить до окрихтіння матеріалу, що пов'язано з поглинанням енергії карбонільними групами, які виникають у полімерному ланцюзі в процесі виготовлення [14]. Однак, наявність інгібітору корозії в плівці загальмовує процеси окиснення поліетиленової плівки як при її виготовленні, так і на початкових етапах експлуатації – в спектрах поглинання модифікованих покриттів не спостерігаються валентні коливання зв'язку C=O кетона при 1720 см^{-1} [15]. Уповільнення перебігу процесів фотоокислювальної деструкції позитивно впливає на зміну паропроникності на початкових

етапах експлуатації. Одночасно збільшення кристалічності плівок пригальмовує початкові етапи окиснювальних деструкційних процесів, так як кристаліти можуть відігравати роль “пасток” вільних радикалів [16].

Проте невеликі концентрації додатків значно впливають на зміну структури, що особливо проявляється при тривалій (більше 4 років) експлуатації покриттів на відкритих площадках [10-12]. У модифікованих плівках, підданих дії атмосферних факторів, посилювалась фотоокиснювальна деструкція, накладалась розрив полімерних ланок та вимивання інгібітору. Руйнівні процеси в модифікованих покриттях в умовах змін світлопогоди розвиваються набагато активніше, ніж в попередньо досліджуваних плівках у кліматичній камері.

Інша спільна риса – позитивний вплив алюмінієвого додатку, що неодмінно понижує показники WVTR. Не слід оминати характерну для двох видів досліджень дію пластифікатора ДБФ, додатки якого приводили до зростання показника WVTR.

Висновки

Можна констатувати, що дія УФ-опромінення та світлопогоди призводить до погіршення бар'єрних властивостей досліджуваних полімерних плівок, а введення в них модифікуючих компонентів позитивно позначається на стійкості плівок до впливу зовнішніх факторів при невеликих термінах експлуатації. При цьому, однак, на величину паропроникності модифікованих плівок істотно впливає кількість і сумісність введених у матрицю складових – інгібітора, пластифікатора і наповнювача.

Аксіментьєва О.І. – професор, д.х.н.;

Доманцевич Н.І. – професор, д.т.н.;

Яцишин Б.П. – професор, д.т.н.

- [1] L.K. Massey, Permeability properties of plastics and elastomers: a guide to packaging and barrier materials (Plastics Design Library, NY, 2003); <https://ru.zlibcdn2.com/book/2052717/abfbc5?dsourc=recommend>.
- [2] Plastic films in food packaging: materials, technology, and applications / Ed. by Sina Ebnesajjad (William Andrew is an imprint of Elsevier, Oxford, 2013); <https://www.elsevier.com/books/plastic-films-in-food-packaging/ebnesajjad/978-1-4557-3112-1>.
- [3] N.I. Domantsevich Inhibitory protection of industrial products: monograph (Lviv Commercial Academy Publishing House, Lviv, 2003); [http://irbis-nbu.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbu/cgiirbis_64.exe?Z21ID=&I21DBN=EC&P21DBN=EC&S21STN=1&S21REF=10&S21FMT=fullwebr&C21COM=S&S21CNR=20&S21P01=0&S21P02=0&S21P03=A=&S21COLORTERMS=1&S21STR=%D0%94%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%BD%D1%86%D0%B5%D0%B2%D0%B8%D1%87%20%D0%9D\\$](http://irbis-nbu.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbu/cgiirbis_64.exe?Z21ID=&I21DBN=EC&P21DBN=EC&S21STN=1&S21REF=10&S21FMT=fullwebr&C21COM=S&S21CNR=20&S21P01=0&S21P02=0&S21P03=A=&S21COLORTERMS=1&S21STR=%D0%94%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%BD%D1%86%D0%B5%D0%B2%D0%B8%D1%87%20%D0%9D$) (in Ukrainian).
- [4] B. Duncan, J. Urquhart, S. Roberts, Review of measurement and modelling of permeation and diffusion in polymers (NPL, Teddington, 2005); <http://www.npl.co.uk>.

- [5] O.I. Aksimentieva, N.I. Domantsevich, B.P. Yatsyshyn, Diffusion characteristics of thin-film polymeric materials and methods of their measurement (Lviv University of Trade and Economics Publishing House, Lviv, 2018); ([http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?Z21ID=&I21DBN=EC&P21DBN=EC&S21STN=1&S21REF=10&S21FMT=fullwebr&C21COM=S&S21CNR=20&S21P01=0&S21P02=0&S21P03=A=&S21COLORTERMS=1&S21STR=%D0%90%D0%BA%D1%81%D1%96%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%8C%D1%94%D0%B2%D0%B0%20%D0%9E\\$](http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?Z21ID=&I21DBN=EC&P21DBN=EC&S21STN=1&S21REF=10&S21FMT=fullwebr&C21COM=S&S21CNR=20&S21P01=0&S21P02=0&S21P03=A=&S21COLORTERMS=1&S21STR=%D0%90%D0%BA%D1%81%D1%96%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%8C%D1%94%D0%B2%D0%B0%20%D0%9E$)) (in Ukrainian).
- [6] V. Siracusa, International Journal of Polymer Science, Article ID 302029, (2012); (<https://www.scribd.com/document/348250250/PERMEATION-pdf>).
- [7] S. Manabe, Supermolecular structure of polymer solids and its effects on penetrant transport, in: Diffusion in polymers (Marcel Dekker, Inc., N-Y, 1996), pp. 211-250; (<https://www.worldcat.org/title/diffusion-in-polymers/oclc/33898588>).
- [8] S. Brunauer, P.H. Emmett, E. Teller, Journal of the American Chemical Society 60(2), 309 (1938); (<https://doi.org/10.1021/ja01269a023>).
- [9] S.N. Dhoot, PhD Dissertation (The University of Texas at Austin, USA, 2004); (<https://repositories.lib.utexas.edu/handle/2152/1918>).
- [10] A. L. Andradý, Ultraviolet radiation and polymers, in: Physical Properties of Polymers Handbook (Springer Science & Business Media, N-Y, 2007), pp. 857 - 866; (<https://materials.springer.com/bp/docs/978-0-387-69002-5>).
- [11] M. Chandra, S. K. Roy, Plastics technology handbook (London-N.Y.: Taylor & Francis Group, 2007); (<https://books.google.mw/books?id=yNPLBQAAQBAJ&printsec=frontcover&rview=1#v=onepage&q&f=false>).
- [12] N. Domantsevych, O. Aksimentyeva, B. Yatsyshyn, Current trends in commodity science. Packaging 186, 67 (2011); (<https://bazekon.uek.krakow.pl/rekord/171200765>).
- [13] V.A. Goldade, L.S. Pinchuk, A.V. Makarevich, V.N. Kestelman, Plastics for Corrosion Inhibition (Springer-Verlag Heidelberg, Berlin (Germany), 2005); (<https://www.springer.com/gp/book/9783540238492>).
- [14] J.A. Brydson, Plastics materials (Butterworth-Heinemann, Oxford (GB), 1999); (<https://www.elsevier.com/books/plastics-materials/brydson/978-0-7506-4132-6>).
- [15] J.P. Skorobogaty, N.I. Domantsevich, B.P. Yatsyshyn, Chemical industry of Ukraine 1, 32 (2002) (in Ukrainian).
- [16] B. Ranby, J.F. Rabek, Photodegradation, photo-oxidation and photostabilization of polymers (Wiley-Interscience, New York, 1975); (<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/pol.1975.130131008>).

O.I. Aksimentyeva¹, N.I. Domantsevych², B.P. Yatsyshyn³

Influence of UV Radiation and Atmospheric Factors on Vapor Permeability of Thin-Film Modified Polyethylene Materials

¹Ivan Franko Lviv National University, Lviv, Ukraine, olena.aksimentyeva@lnu.edu.ua

²Lviv Trade and Economic University, Lviv, Ukraine, nina.domantsevich@gmail.com

³National University "Lviv Polytechnic", Lviv, Ukraine, Bohdan.P.Yatsyshyn@lpnu.ua

The vapor permeability of modified polyethylene films after long-term exposure to UV radiation and atmospheric factors was studied. The dependences of changes in diffusion characteristics on the type of modifying additives and the time of action of external factors are established. It is shown, on the basis of polarographic studies, the reduction of the quantitative composition of volatile modifying components of the modified film under the action of UV radiation.

Keywords: polymers, polyethylene, modified films, UV radiation, natural and artificial weathering tests, water vapor permeability, polarography.