

УДК 678.7

Доманцевич Н. І.,

nina.domantzevich@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-6157-7079,

Researcher ID F-3069-2019,

д.т.н., проф., професор кафедри товарознавства та експертизи у митній справі,

Львівський торговельно-економічний університет, м. Львів

Яцишин Б. П.,

bogdan.yatsyshyn7@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-6762-2646,

д.т.н., проф., професор кафедри електронних приладів,

НУ “Львівська політехніка”, м. Львів

Василишин Л.,

lilyavasylyschun1999@gmail.com,

магістрант, Львівський торговельно-економічний університет, м. Львів

ВПЛИВ ФАКТОРІВ СТАРІННЯ НА ВЛАСТИВОСТІ ПОЛІЕТИЛЕНОВИХ ПЛІВОК ПАКУВАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Анотація. У статті розглянуто теоретичні аспекти процесів старіння полімерних матеріалів, визначення термінів згідно з нормативними документами. Метою статті є вивчення теоретичних аспектів проблеми старіння полімерних матеріалів та дослідження перебігу процесу старіння пакувальних поліетиленових плівок спеціального призначення з модифікуючими додатками. Представлено класифікацію основних видів старіння. Проведено аналіз факторів старіння поліетиленових плівок, що діють під час їх експлуатації як пакувального матеріалу. Представлено модельне зображення зміни властивостей полімерної плівки під впливом дії одного фактора протягом різних періодів часу. Показано особливості комплексної дії факторів старіння на властивості полімерних плівок пакувального призначення. Встановлено, що поєднання факторів впливу на полімерні матеріали, інтенсивність та тривалість їх дії у часі важко передбачити, проте розуміння загального механізму дії дає змогу покращити та зберегти властивості матеріалу. Визначено зміну властивостей поліетиленових плівок пакувального призначення залежно від термінів та умов експлуатації. Встановлено вплив складових компонентів полімерних композицій на тривалість експлуатації та можливість їх подальшого використання як пакувальних матеріалів. Вказано на те, що процеси старіння відбуваються в полімерних матеріалах протягом усього життєвого циклу, починаючи з часу їх виготовлення до закінчення терміну експлуатації. Показано, що модифікація полімерних плівок інгібіторами, пластифікаторами та іншими складовими впливає на проходження процесів старіння. При цьому відбувається зміна структури матеріалу, його кристалічності, забезпечується певна рухливість полімерних ланок. Подальші дослідження слід спрямувати на поглиблене вивчення механізму старіння полімерних плівок, встановлення кількісного зв'язку між впливом різних факторів на швидкість перебігу процесів старіння.

Ключові слова: старіння, поліетиленові пакувальні плівки, властивості, полімерна композиція, фактори експлуатації полімерних плівок.

Domantsevych N. I.,

nina.domantzevich@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-6157-7079,

Researcher ID F-3069-2019,

Doctor of Engineering, Professor, Professor of the Department of Commodity Research and Expertise

in Customs Business, Lviv University of Trade and Economics, Lviv

Yatsyshyn B. P.,

bogdan.yatsyshyn7@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-6762-2646,

Doctor of Engineering, Professor, Professor of the Department of Electronic Devices,

“Lviv Polytechnic” National University, Lviv

Vasylyshyn L.,

lilyavasylyschun1999@gmail.com,

Master's degree student, Lviv University of Trade and Economics, Lviv

INFLUENCE OF AGING FACTORS ON THE PROPERTIES OF POLYETHYLENE FILMS FOR PACKAGING PURPOSES

Abstract. *The theoretical aspects of aging processes of polymeric materials as well as definition of terms according to normative documents are considered in the article. The aim of the article is to study the theoretical aspects of the problem of polymeric materials aging and to research the aging process of special purpose packaging polyethylene films with modifying additives. The classification of the main types of aging is presented. The analysis of aging factors of polyethylene films acting during their using as packing materials is carried out. The modeled image of a polymeric film properties changes under the influence of action of one factor during different periods of time is presented. The peculiarities of the complex action of aging factors on the properties of polymer films for packaging purposes are shown. It is determined that the combination of factors influencing polymeric materials, intensity and duration of their action over time is difficult to predict, but understanding the general mechanism of action allows to improve and preserve the properties of the material. The change of properties of polyethylene films of packing purpose depending on terms and conditions of using is defined. The influence of the constituent components of polymer compositions on the duration of operation and the possibility of their further use as packaging materials is determined. It is pointed out that the aging processes occur in polymeric materials throughout the life cycle, from the time of their manufacture to the end of service life. It is shown that the modification of polymer films by inhibitors, plasticizers and other components affects the aging process. Because of that changes of the material structure take place as well as of its crystallinity. This provides a certain mobility of the polymer units. Further research should be aimed at in-depth study of the polymer films aging mechanism, the establishment of a quantitative relationship between the influence of various factors on the rate of aging.*

Key words: aging, polyethylene packaging films, properties, polymer composition, factors of polymer films using.

JEL Classification: L60, L69

DOI: <https://doi.org/10.36477/2522-1221-2020-24-01>

Постановка проблеми. Протягом терміну використання полімерних плівок як пакувального матеріалу спостерігається дія низки різноманітних факторів, які викликають зміну вихідних властивостей полімерного матеріалу. При цьому комплекс факторів, які діють на полімерний матеріал, може поєднувати різні складові, інтенсивність дії яких впливає на тривалість експлуатації матеріалу. Зміни, що відбуваються у полімерному пакувальному матеріалі, значною мірою визначають термін збереження якості упакованої продукції.

Дія атмосферних факторів на полімерні плівкові матеріали спричиняє зміну їх структури, хімічних і фізичних характеристик та, відповідно, зміну захисних властивостей пакувань. У загальному часові зміни у полімерних плівко-

вих матеріалах розглядають як дію внутрішніх та зовнішніх агентів, що спричиняють хімічні та фізичні перетворення під час їх переробки, зберігання, експлуатації.

У більшості випадків проявляється зв'язок між фізико-хімічними перетвореннями і макроскопічними властивостями матеріалу, які мало досліджувались, оскільки перебіг процесу старіння свідчить про його багатофакторність, що характеризується складною системою трансформацій у полімерній матриці під впливом агентів. До внутрішніх агентів слід віднести склад і структуру полімеру, наявність модифікуючих добавок, наповнювачів тощо.

У композитних матеріалах спостерігається вплив додатків на поведінку старіння та механізм полімерних матриць: стабілізуючий вплив

деяких компонентів та наповнювачів на фотохімічні реакції та кінетику внутрішніх перетворень; вплив наповнювачів на процеси нуклеації, які можуть спричинити зміни форми кристалів, ступеня кристалічності та розмірів кристалічних утворень у полімерній матриці. Як наслідок, змінюються фізико-хімічні характеристики полімерних композитних матеріалів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вивчення факторів старіння та їх вплив на формування споживних властивостей та якості полімерних плівок знайшли розвиток у роботах вітчизняних та зарубіжних науковців, а саме: Неймана М. Б., Павлова Н. Н., Заїкова Г. Є., Емануеля Н. М., Бучаченко А. Л., Пінчука Л. С., Гольдаде В. А., Грасці Н., Скотт Дж., Feller Robert L., Yang R., Hodge Ian M., Allara David L. [1–10].

Так, Нейман М. Б. [1] вивчав питання схильності матеріалів до різних типів старіння, дію окремих інгредієнтів, які дозволяють зберігати, переробляти і використовувати полімерні матеріали без будь-якої помітної зміни їх властивостей. Вказано, що процеси стабілізації мають дуже складний хімічний характер. Природа самих полімерів значною мірою впливає на ці процеси, і, отже, для полімерів різної структури потрібні різні стабілізатори. Крім того, було зауважено, що використані антиоксиданти можуть не тільки викликати розрив полімерного ланцюга, але також здатні ініціювати окислення і викликати зміни у розгалуженості.

У роботі [2] Павловим Н. Н. зроблено спробу систематизувати основні фактори, які діють під час довготривалого або прискореного старіння, надано їх аналіз та класифікацію не тільки за зовнішніми ознаками, але і за впливом на полімерні матеріали. Розглянуто вплив умов зберігання та експлуатації на зміну властивостей полімерів різних класів.

У роботі [3] Заїкова Г. Є. розглянуто характеристики процесів деструкції та особливості руйнування полімерних матеріалів в умовах експлуатації за різних зовнішніх впливів, а також технологічні та екологічні аспекти їх утилізації.

Авторами [4] розглянуто теоретичні аспекти процесів молекулярного руйнування полімерів під дією тепла, кисню, світла, механічних зусиль, електричних полів; були обговорені хімічні та структурно-фізичні принципи стабілізації полімерів, полімерних розплавів і розчинів, сформульовані принципи вибору стабілізаторів і прогнозування термінів служби полімерних матеріалів.

Грасці Н., Скотт Дж. [5], Ренбі Б., Рабек Я. [6], Allara David L. [7] вивчали аспекти проблеми старіння полімерних матеріалів.

Автор Feller Robert L. у роботі [8] акцентував увагу на питаннях довготривалої експлуатації полімерних матеріалів, їх стійкості до змін при впливі таких факторів навколишнього середовища, як кисень, озон, волога, тепло і світло, та зміну їх фізико-механічних показників при довготривалій експлуатації.

Hodge Ian M. [9] розглянув поняття фізичного старіння як структурної релаксації склоподібного стану до метастабільного рівноважного аморфно-кристалічного стану, яке супроводжується змінами майже всіх фізичних властивостей. На думку автора, ці зміни слід враховувати при розробці, виготовленні та використанні склоподібних полімерних матеріалів та пристроїв, що є складним завданням.

У роботі автора Yang R. [10] показано, що зміна властивостей полімерних композитів є результатом багатьох факторів, що можуть спричинити позитивний або негативний ефект.

Особливості формування та використання інгібованих полімерних плівок для захисту металів від корозії знайшли відображення у роботі [11].

Проведений аналіз наукових досліджень процесів старіння полімерних матеріалів під час експлуатації свідчить про важливість наукових робіт, які проводяться у цьому напрямку, дозволить покращити збереження властивостей полімерних матеріалів, що надзвичайно важливо для пакувальної галузі.

Постановка завдання. Розглянути теоретичні аспекти проблеми старіння полімерних матеріалів та дослідити перебіг старіння пакувальних поліетиленових плівок спеціального призначення з модифікуючими додатками.

Виклад основного матеріалу дослідження. Процеси старіння відбуваються в полімерних матеріалах протягом усього життєвого циклу, починаючи з часу їх виготовлення до закінчення терміну експлуатації. Інтенсивність та тривалість процесів старіння полімерних матеріалів у кожному випадку є різними.

ГОСТ 9.710-84 визначає старіння як сукупність фізичних та хімічних процесів, що відбуваються в полімерному матеріалі і призводять до незворотних змін властивостей.

Вирізняють окремі види старіння полімерних матеріалів (табл. 1) [1, 12–13].

Види старіння полімерних матеріалів

№ з/п	Назва	Характеристика
1	Термічне (теплове) старіння	Старіння полімерного матеріалу при впливі температури
2	Світлове	Старіння полімерного матеріалу при впливі світлового випромінювання ультрафіолетової і (або) видимої частин спектра
3	Окиснювальне	Старіння полімерного матеріалу при впливі кисню
4	Озонне	Старіння полімерного матеріалу при впливі озону
5	Радіаційне	Старіння полімерного матеріалу при впливі іонізуючого випромінювання
6	Хімічне	Старіння полімерного матеріалу при впливі хімічних агресивних середовищ
7	Старіння під впливом біологічних факторів	Старіння полімерного матеріалу при впливі біологічних факторів
8	Електричне	Старіння полімерного матеріалу при впливі електричного поля
9	Ультразвукове	Старіння полімерного матеріалу при впливі ультразвукового випромінювання
10	Абляційне	Старіння полімерного матеріалу при впливі потоків газу, рідини, твердих часточок
11	Старіння під дією механічних факторів	Механічні пошкодження під навантаженням, які зменшують тривалість експлуатації та сприяють дії інших агентів старіння
12	Кліматичне	Старіння полімерного матеріалу при впливі кліматичних факторів у штучних і природних умовах
13	Старіння у воді	Зміна властивостей полімерного матеріалу під впливом води
14	Старіння у вологому середовищі	Старіння полімерного матеріалу при впливі парів води
15	Старіння у ґрунті	Старіння, пов'язане сукупною дією різних факторів, в тому числі і механічного напруження

Перебіг процесу старіння полімерних матеріалів передбачає вплив факторів, причому їх дія може бути як одиночною, так і комплексною (рис. 1) [1, 11, 13–16].

Посидання факторів впливу на полімерні матеріали, інтенсивність та тривалість їх дії у часі важко передбачити, проте розуміння загального механізму дії дає змогу покращення та збереження властивостей матеріалу.

У випадку використання полімерних плівкових матеріалів як пакувальних матеріалів спеціального призначення слід враховувати також особливості модифікації.

З метою більш узагальненого вивчення та прогнозування можливих змін властивостей полімерних матеріалів важливо моделювати процеси старіння, виділяючи вплив від дії факторів.



Рис. 1. Класифікація факторів впливу на полімерний матеріал при старінні

Виникнення ризиків розвитку процесу старіння полімерних матеріалів як результат дії факторів впливу можна представити схематично (рис. 2).

На розвиток процесу старіння відповідно до рис. 2 впливає як інтенсивність дії факторів, так і час їх дії. Функція дії факторів відображається значеннями на поверхні tPS. Зі збільшенням інтенсивності дії факторів та тривалості їх дії збільшується можливість розвитку процесу старіння. Р – точка максимального загального режиму старіння, яка відповідає максимальній інтенсивності дії факторів. Тобто точка Р виступає як крайня при визначенні процесів старіння

і при необхідності забезпечення більш тривалих термінів експлуатації слід проводити ряд додаткових досліджень.

Інтенсивність проходження процесу старіння визначає здатність полімерної плівки виконувати задані функції. Якщо значення показників властивостей опускаються нижче критичного рівня, відбувається руйнування матеріалу.

Зміна властивостей під впливом дії одного фактора протягом різних періодів часу представлена на рис. 3.

Фактор, який діє на товар, може мати довготривалий або короткотривалий характер впливу,

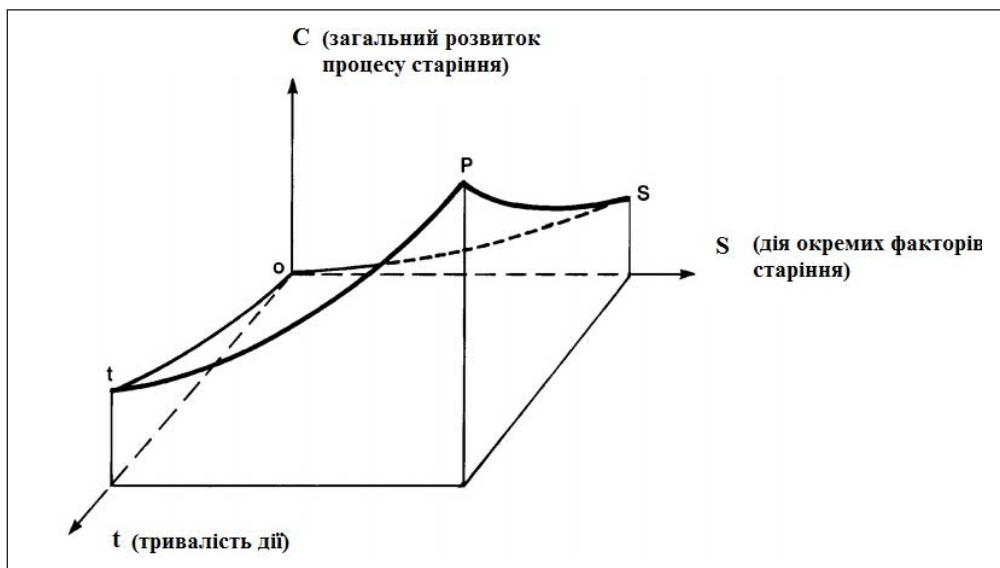


Рис. 2. Схематичне зображення розвитку процесу старіння С, де: t – тривалість дії окремих факторів старіння, S – інтенсивність дії окремих факторів [13]

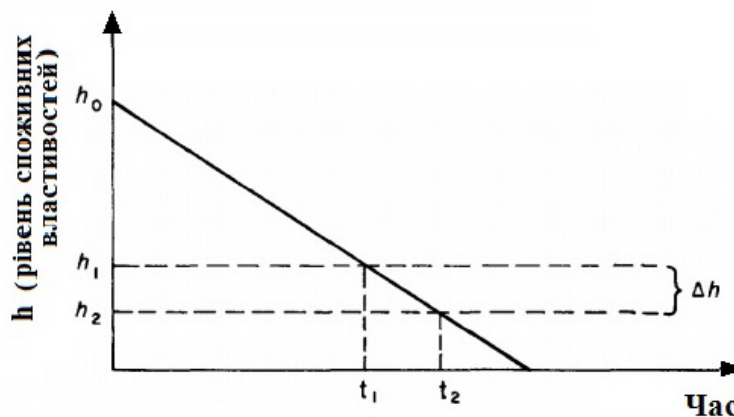


Рис. 3. Зміна рівня споживних властивостей полімерної плівки (h) під впливом дії певного фактора протягом різних періодів часу (t): h_0 – початковий рівень споживних властивостей товару; h_1 – величина залишкових споживних ресурсів за час впливу фактора; h_2 – залишковий рівень споживних властивостей, при якому вважається, що товар несправний

в залежності від терміну і умов використання. Крім цього, кількість параметрів та їх дія на властивості полімерної плівки можуть бути багатовимірними. Широкий спектр складних процесів старіння, включаючи багаторазові та періодичні режими використання товару, можна умовно подати у вигляді моделі, представленої на рис. 4.

Для прикладу, дослідження процесів старіння з метою подальшого моделювання дії факторів проводили з використанням модифікованих полімерних плівок на основі поліетилену низької густини. Як модифікуючі добавки використовували інгібітори циклогексиламінбензоат (ЦГАБ), дициклогексиламін бензоат (ДЦГАБ), нітрит дициклогексиламіна (НДА). Кількість інгібітора, який вводили до складу полімеру, знаходилася у межах від 0,5 до 2 ваг.%. Пластифікацію здійснювали фізико-хімічними методами шляхом введення в полімерну матрицю під час екструзії ди-2- диоктилфталату (ДОФ) та дибутилфталату (ДБФ) в кількості до 5 ваг.%, що покращувало еластичні та пластичні властивості матеріалу через збільшення рухомості та кінетичної гнучкості ланцюгів [15-17].

Зміну властивостей представлено на прикладі впливу температури, що визначалося за допомогою диференціального термічного аналізу (ДТА). Термічна стійкість є комплексною характеристи-

кою, що складається з низки показників, таких як температура фазових переходів полімеру, зокрема температура плавлення модифікованого полімерного матеріалу, температура окиснювальної деструкції, втрата маси за підвищених температур. Значний ступінь кристалічності досліджуваних зразків сприяв їх вивченню з використанням ДТА, оскільки процес плавлення пов'язаний із зміною властивостей кристалічних областей полімеру.

Визначення зміни температури плавлення та температури початку термоокиснювальної деструкції зразків поліетиленових плівок показує, що їх підвищення пов'язується з двома основними факторами – числом метильних та етильних бічних груп і зміною ступеня кристалічності полімерної матриці (рис. 5).

Введення до полімерної матриці незначних додатків інгібіторів приводить до збільшення кількості бічних груп і одночасного збільшення кристалізаційних явищ. Такий процес обумовлює виникнення у полімерній матриці дрібнокристалічних утворень у разі збільшення їх загальної частки. Це виявляється у підвищенні температури плавлення при зменшенні інтервалу плавлення, оскільки розкид кристалітів за розмірами значно менший.

За дериватограмами модифікованих плівок встановлено, що присутність інгібіторів ДЦГАБ,



Рис. 4. Зміна рівня споживних властивостей полімерної плівки (h) під час довготривалого та короткотривалого впливу факторів протягом різних періодів часу (t):

h_0, h_0' – початковий рівень споживних властивостей товарів; h_1 – величина залишкових споживних ресурсів за час впливу факторів; h_2 – залишковий рівень споживних властивостей, при якому вважається, що товар несправний; t_l, t'_l – час досягнення критичного рівня залишкових споживних властивостей за довготривалого використання (висока інтенсивність дії факторів) для різних товарів; t_s, t'_s – час досягнення критичного рівня залишкових споживних властивостей за короткотривалого використання (мала інтенсивність дії факторів) для різних товарів.

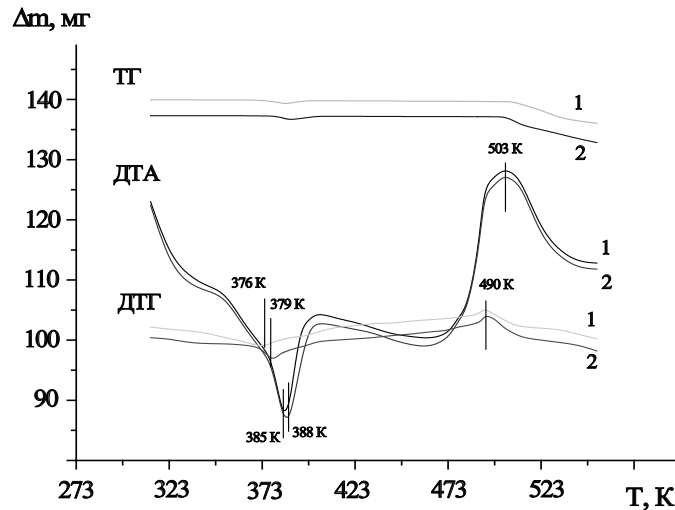


Рис. 5. Термограми модифікованих поліетиленових плівок, які піддали старінню в складських умовах:
 1 – ПЕВТ + 1 ваг. % ЦГАБ (вихідний зразок); 2 – ПЕВТ + 1 ваг. % ЦГАБ (6 років старіння)

ЦГАБ, НДА підвищує стійкість полімерної основи до термоокиснювальної деструкції. Це підтверджується зміщенням екзотермічного піку, який пов'язують з деструкцією полімерної плівки, в область високих температур. Для полімерної плівки термічний розклад настає в області 498-500 К, тоді як наявність інгібіторів (0,5 – 2,0 ваг. %) зміщує його на 10 – 20 К в бік вищих температур. Підвищення вмісту інгібіторів корозії спричиняє позитивний ефект на стійкість покриттів до термоокиснювальної деструкції. Таким чином, включення інгібіторів (до 3 ваг. %) приводить до незначного збільшення температури плавлення, що пов'язується із зростанням дрібнокристалічності полімерної матриці.

Пластифікація фталатами (в межах 0,1 – 2 ваг. %) не приводить до суттєвих змін термогравіметричних характеристик, незначне зменшення температури плавлення може бути пов'язане із зменшенням жорсткості полімерних ланцюгів.

Висновки і перспективи подальших досліджень у даному напрямі. Проведений аналіз, який базувався на даних літературних джерел та результатах власних досліджень, виявив вплив процесів старіння полімерних плівок на зміну властивостей. Особливості процесів старіння доцільно розглядати, починаючи від етапу виробництва полімерних плівок до їх утилізації.

Розглянуто основні види старіння полімерних плівок, представлені у нормативних документах. Представлено класифікацію факторів, які можуть спричинити вплив на перебіг процесів старіння

полімерних плівок. Розроблення розширеної класифікації факторів старіння дасть змогу детально описати процес і використовуватись під час його аналізу.

Показано, що модифікація полімерних плівок інгібіторами, пластифікаторами та іншими складовими впливає на проходження процесів старіння. При цьому відбувається зміна структури матеріалу, його кристалічності, забезпечується певна рухливість полімерних ланок.

Подальші дослідження слід спрямувати на поглиблене вивчення механізму старіння полімерних плівок, встановлення кількісного зв'язку між впливом різних факторів на швидкість перебігу процесів старіння. Узагальнення аспектів старіння полімерних плівок пакувального призначення слід здійснювати із використанням як теоретичних, так і практичних досліджень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Павлов Н. Н. Старение пластмасс в естественных и искусственных условиях / Н. Н. Павлов. – М. : Химия, 1982. – 224 с.
2. Нейман М. Б. Старение и стабилизация полимеров / М. Б. Нейман. – М. : Наука, 1964. – 330 с.
3. Горение, деструкция и стабилизация полимеров / [под ред. Заикова Г. Е.]. – СПб. : Научные основы и технологии, 2008. – 422 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://rucont.ru/efd/175127>.

4. Эмануэль Н. М. Химическая физика молекулярного разрушения и стабилизации полимеров / Н. М. Эмануэль, А. Л. Бучаченко. – М. : Наука, 1988. – 368 с.
5. Грасси Н. Деструкция и стабилизация полимеров / Грасси Н., Скотт Дж. – М. : Мир, 1988. – 246 с.
6. Рэнби Б. Фотодеструкция, фотоокисление, фотостабилизация полимеров / Б. Рэнби, Я. Рабек. – М. : Мир, 1978. – 675 с.
7. David L. Allara Aging of Polymers // *Environmental Health Perspectives*. – 1975. – Vol. 11, Pp. 29-45 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ehp.niehs.nih.gov/doi/pdf/10.1289/ehp.751129>.
8. Feller Robert L. Accelerated aging : photochemical and thermal aspects / Robert L. Feller. – 1994. – Edwards Bros., Ann Arbor, Michigan. – 292 p.
9. Ian M. Hodge Physical Aging in Polymer Glasses / Ian M. Hodge // *Science, New Series*, Vol. 267, No. 5206 (Mar. 31, 1995), pp. 1945-1947 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.jstor.org/stable/2886443>.
10. Yang R. Status and challenge in aging research of polymer composites / R. Yang // *Polym. Mater. Sci. Eng.* – 2015. – № 31. – P. 181-184.
11. *Plastics for corrosion inhibitions* / V.A. Goldade, L. S. Pinchuk, A. V. Makarevich, V. N. Kestelman. – Berlin: Springer-Verlag, 2005. – 384 p.
12. ГОСТ 9.710-84 Старение полимерных материалов. Термины и определения. – 11 с.
13. Carfagno S. P. A Review of Equipment Aging Theory and Technology. N P-1558 Research Project 890-1 / S. P. Carfagno, R. J. Gibson [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.osti.gov/servlets/purl/5032834>.
14. Аксіментьєва О. І. Дифузійні характеристики тонкоплівкових полімерних матеріалів та методи їх вимірювання : монографія / О. І. Аксіментьєва, Н. І. Доманцевич, Б. П. Яцишин. – Львів : Видавництво Львівського торговельно-економічного університету, 2018. – 140 с.
15. Доманцевич Н. І. Структуро- та дефектоутворення при довготривалому старінні інгібованих полімерних плівок / Н. І. Доманцевич, Б. П. Яцишин // *Фізика і хімія твердого тіла*. – 2003. – Т. 4, № 2. – С. 323-328.
16. Доманцевич Н. І. Полімерні плівки спеціального призначення / Н. І. Доманцевич, Б. П. Яцишин, М. М. Кріль // *Вісник Львівського торговельно-економічного університету*. – Львів : Вид-во ЛТЕУ, 2018. – Вип. 20. – С. 5-11.
17. Доманцевич Н. І. Методологічні підходи до формування та оцінювання якості інгібітормістких консерваційно-пакувальних матеріалів для захисту виробів із металів : дис. д.т.н. / Н. І. Доманцевич. – К. : КНТЕУ, 2008. – 332 с.

REFERENCES

1. Pavlov, N. N. (1982), *Starenye plastmass v estestvennykh y uskusstvennykh uslovyiakh*, Khymiya, M., 224 s.
2. Nejman, M. B. (1964), *Starenye y stabylyzatsiya polymerov*, Nauka, M., 330 s.
3. Horenye, destruktziya y stabylyzatsiya polymerov, pod red. Zaykova H. E. (2008), *Nauchnye osnovy y tekhnolohyy*, SPb., 422 s., available at: <https://rucont.ru/efd/175127>.
4. Emanuel', N. M. and Buchachenko, A. L. (1988), *Khymycheskaia fyzyka molekuliarnoho razrusheniya y stabylyzatsyy polymerov*, Nauka, M., 368 s.
5. Hrassy N., Skott Dzh. (1988), *Destruktsiya y stabylyzatsiya polymerov*, Myr, M., 246 s.
6. Renby B., Rabek Ya. (1978), *Fotodestruktsiya, fotookyslenye, fotostabylyzatsiya polymerov*, Myr, M., 675 s.
7. David L. Allara (1975), *Aging of Polymers, Environmental Health Perspectives*, vol. 11, pp. 29-45, available at: <https://ehp.niehs.nih.gov/doi/pdf/10.1289/ehp.751129>.
8. Feller Robert L. (1994), *Accelerated aging : photochemical and thermal aspects*, Edwards Bros., Ann Arbor, Michigan, 292 p.
9. Ian M. Hodge Physical Aging in Polymer Glasses / *Science, New Series*, vol. 267, No. 5206 (Mar. 31, 1995), pp. 1945-1947, available at: <http://www.jstor.org/stable/2886443>.
10. Yang R. (2015), *Status and challenge in aging research of polymer composites*, *Polym. Mater. Sci. Eng.*, № 31, p. 181-184.
11. Goldade, V.A. Pinchuk, L. S. Makarevich, A. V. and Kestelman, V. N. (2005), *Plastics for corrosion inhibitions*, Springer-Verlag, Berlin, 384 p.
12. ГОСТ 9.710-84 *Starenye polymernykh materyalov. Termyny y opredeleniya*, 11 s.
13. Carfagno, S. P. Gibson, R. J. *A Review of Equipment Aging Theory and Technology. N P-1558 Research Project 890-1*, available at: <https://www.osti.gov/servlets/purl/5032834>.
14. Aksiment'ieva, O. I. Domantsevych, N. I. and Yatsyshyn, B. P. (2018), *Dyfuzijni kharakterystyky tonkoplivkovykh polimernykh materialiv ta metody ikh vymiriuvannia* :

monohrafiia, Vydavnytstvo L'vivs'koho torhovel'no-ekonomichnoho universytetu, L'viv, 140 s.

15.Domantsevych, N. I. and Yatsyshyn, B. P. (2003), Strukturno- ta defektoutvorennia pry dohotryvalomu starinni inhibovanykh polimernykh plivok, *Fizyka i khimiia tverdoho tila*, T. 4, № 2, s. 323-328.

16.Domantsevych, N. I. Yatsyshyn, B. P. and Kril', M. M. (2018), Polimerni plivky spetsial'noho pryznachennia, *Visnyk L'vivs'koho*

torhovel'no-ekonomichnoho universytetu, Vyd-vo LTEU, L'viv, vyp. 20, s. 5-11.

17.Domantsevych, N. I. (2008), Metodolohichni pidkhody do formuvannia ta otsiniuvannia iakosti inhibitoromistkykh konservatsijno-pakuval'nykh materialiv dlia zakhystu vyrobiv iz metaliv : dys. d.t.n., KNTEU, K., 332 s.

Стаття надійшла до редакції 03 травня 2020 року