

ДОМАНЦЕВИЧ НІНА

Львівський торговельно-економічний університет

ORCID ID: 0000-0002-6157-7079

e-mail: nina.domantzevich@gmail.com

ЯЦІШИН БОГДАН

Львівський торговельно-економічний університет

ORCID ID: 0000-0001-6762-2646

e-mail: bogdan.yatsyshyn7@gmail.com

ПОЛІЕТИЛЕНОВІ ПЛІВКИ ДЛЯ ДОВГОТРИВАЛОГО ЗБЕРІГАННЯ МЕТАЛОПРОДУКЦІЇ: ВИМОГИ, ПОТРЕБИ, ВЛАСТИВОСТІ

Проведено порівняння характеристик модифікованих поліетиленових плівок, які використовуються для захисту від корозії за різних термінів та умов складування. Встановлені основні вимоги споживачів до протикорозійного захисту металовиробів із використанням плівкових матеріалів. Розроблено основні критерії застосування плівкових антикорозійних матеріалів. При цьому основна увага приділялась збереженню функціональності матеріалів – захисним та бар'єрним характеристикам, які в умовах складського зберігання пов'язуються із часовими змінами структури.

Ключові слова: полімери, поліетиленові плівки, наповнювач, структура, старіння, закрите складування.

DOMANTSEVYCH NINA

Lviv University of Trade and Economics

YATSYSHYN BOGDAN

Lviv University of Trade and Economics

POLYETHYLENE FILMS FOR LONG-TERM STORAGE OF METAL PRODUCTS: REQUIREMENTS, NEEDS, PROPERTIES

The main criteria put forward to polymer coatings as means of anti-corrosion protection of metal products have considered by studies. The basic requirements of consumers for anti-corrosion protection of metal products using film materials have been established. It is shown that the use of film polymer materials for long-term protection of metal products is characterized by features due to the combination of preserving the functionality of polymer materials - protective and barrier characteristics and the preservation of the metal product itself.

It was determined that the main directions in the development of film polymer coatings for long-term protection are the study of their aging processes, changes in properties depending on the terms and conditions of operation, consideration of the influence of the constituent components of the coatings on the duration of operation and the possibility of their further use. The change in the properties of polymer composites is the result of the action of many factors that can cause a positive or negative effect.

The separate directions of development of works on aging of polymers, which are actively carried out today are researching on films with volatile atmospheric corrosion inhibitors of metals, plasticizers and other technological additives. At the same time, the main accent is placed on the correct selection of ingredients of coating and express analysis, despite the use of accelerated experiments, the development of appropriate mathematical apparatus for interpreting the results, improvement of research equipment.

The analysis of scientific studies of the aging processes of polyethylene films during operation and the determination of the necessary directions of research will facilitate and improve the preservation of the properties of polymer materials, and extend the service life of metal products.

Key words: polymers, polyethylene films, filler, structure, aging, closed storage.

Постановка проблеми

Різноманітність та вибір видів захисту металевих конструкцій в умовах атмосферної корозії визначається потребами та можливостями їх застосування. Такі дорогі види захисту, як покриття корозійностійкими благородними металами застосовуються рідко, на найбільш цінному обладнанні невеликого розміру. Натомість, способи захисту від атмосферної корозії, які базуються на електрохімічних принципах, використовуються на великооб'ємних металевих конструкціях та обладнанні. У приладобудуванні та поміж середньорозмірного обладнання найбільш поширеними є способи захисту від корозії металів, що базуються на відмежуванні (ізоляції) металу від оточуючого агресивного середовища та створенні особливих умов перебування металовиробів у хімічно несприятливій для кородування атмосфері. Тривалий час такі види захисту розвивались для тимчасового зберігання виробів. Однак, на даний час існують кілька напрямків використання довготривалого антикорозійного захисту, які пов'язані із розширенням потреб споживання, та охоплюють модифіковані бар'єрні матеріали, що містять інгібітори атмосферної корозії – масла і змазки (таблетки та сипучі матеріали), лаки і фарби, паперово-картонні вироби, полімерні пакувальні плівки. Ефективність від застосування останніх способів залежить від багатьох факторів – від підготовки поверхні металу до складських умов, проте саме довготривале зберігання металопродукції у полімерній пакувальній тарі залишається найбільш поширеним [1, 2].

Аналіз останніх джерел

Полімерні плівки, які використовують в якості засобів захисту від корозії, повинні мати необхідний комплекс властивостей [1–7]:

- 1) хімічних та протикорозійних (не змінювати властивостей під впливом зовнішніх факторів та

проявляти певну хімічну інертність до упакованих металевих виробів);

2) бар'єрних (низькою паро-, водо-, газопроникністю);

3) фізико-механічних (високим опором розривання, надрізу, високими показниками міцності при розтягуванні і видовження при розриванні, в тому числі і термомеханічними показниками, високою еластичністю);

4) технологічних (мала матеріалоемкість, легкість зварювання, хороша сприйнятливості до друку).

Полімерний плівковий матеріал виконує подвійну роль в системі бар'єрної упаковки. По-перше, полімерні плівки зберігають упакований виріб від впливу зовнішнього агресивного середовища, основними компонентами якого, що сприяють процесу корозії, є [5, 8]:

- атмосферна волога, що може містити дисоційовані іони солей та кислот;
- кисень і вуглекислий газ повітря;
- промислові гази (хлор, сірководень, окисли сірки і азоту тощо).

По-друге, полімерні плівки сприяють збереженню мікроклімату всередині упаковки, створеного консерваційними засобами, що призначені забезпечити захист упакованого виробу від корозії під час його транспортування і зберігання.

Антикорозійні плівки за експлуатаційними характеристиками можна поділити на 4-и категорії за гарантійним часом зберігання та умовами складування:

а) короткотермінового складування (5–10 днів) на відкритих площадках або під навісом;

б) довготривалого складування (від 3-х місяців до 1 року і більше) під навісом або з додатковим захистом від прямого попадання атмосферної вологи та УФ-опромінення (в тому числі контейнерні перевезення автомобільним, залізничним та морським транспортом);

в) короткотермінового закритого складування (до року);

г) довготермінового закритого складування (до 10 років і більше).

Плівки, кожної із перелічених категорій, виділяються набором параметрів та характеристик, які в кінцевому визначають доцільність та вартість проведених робіт із пакування. Критерії вибору певного виду захисних антикорозійних плівок для зберігання металопродукції в кінцевому визначаються збереженням якості продукту, а до розгляду беруться (приймаються) наступні характеристики пакувального матеріалу:

1) товщина;

2) наявність добавки, що приводить до змін структури із збільшеною дефектністю полімерної матриці (наприклад, легкого інгібітора атмосферної корозії амінного типу, що створює оптимальне для зберігання внутрішньопакувальне середовище);

3) міцнісні параметри (характеристики);

4) дифузійні параметри (характеристики);

5) взаємодія із металом;

6) вартість.

Метою роботи є знаходження основних критеріїв аналізу змін властивостей полімерних модифікованих покриттів і вироблення на їх основі спрощеної методології визначення якості матеріалів при їх довготривалій експлуатації.

Виклад основного матеріалу

Товщина плівок для короткотермінового зберігання виробів (на відкритих площадках та закритому складуванні) зазвичай не перевищує 100 мк, оскільки товстіші плівки створюють незручності по розпаковці. Більш товстіші плівки застосовуються при упакуванні середньо- та великогабаритної техніки та виробів. Для короткотермінового зберігання переважно використовують неінгібовані плівки поліетилену, що не приводить до пониження якості зберігання та значно знижує вартість пакування. Плівки із інгібітором атмосферної корозії можна застосовувати для короткотермінового зберігання металопродукції (до 2-х років). Проте, використання інгібованих плівок протягом тривалих термінів зберігання може бути ускладнене з-за специфічної дії інгібітора на полімерну матрицю, що приводить до змін структури та збільшення дефектності (перевірялось на аміних інгібіторах атмосферної корозії).

Довготермінове зберігання відзначається більш жорсткими умовами перебування продукції, незалежно від місця складування – відкритого чи закритого. З цієї причини товщина захисних пакувальних плівок для довготривалого зберігання металопродукції більша – від 150 мк, а присутність інгібітора атмосферної корозії бажана. Тривалий час перебування продукції під впливом агентів вимагає передбачити зниження захисних бар'єрних та міцнісних характеристик, які змінюються першочергово. Ефект взаємодії довготривалого покриття та металу стає одним із основних та його вже відносять до питань зниження захисних функцій плівок, а збільшення вартості проекту замінюється технологічними проблемами введення додатків та наповнювачів, що підвищують терміни забезпечення придатності матеріалу без зниження його рівня захисту для металопродукту.

Міцнісні характеристики пакування визначаються хімічним склад і структурою полімерних матеріалів (та її змінами в процесі формування та експлуатації плівки). Для полімерів з переважно кристалічною структурою (поліпропілен, поліамід, поліетилентерефталат) має місце квазікрихке руйнування в результаті деформації кристалічних утворень як єдиного цілого. Полімери з переважно аморфною структурою (полістирол, ПВХ, поліметилметакрилат, а також ряд структурованих бутадієнових та стирольних сополімерів) здатні до значної пластичної деформації зі зміною структури матеріалу [1, 4].

При однаковому співвідношенні кристалічної і аморфної частин на міцність суттєво впливає характер надмолекулярної структури. Матеріал, що містить крупні сфероліти стає більш крихким, ніж дрібносферолітний.

Міцнісні властивості всіх матеріалів залежать від степені орієнтації полімерних ланцюгів, розгалуженості і поперечного зшивання. Надійність упаковки в процесі транспортування чи зберігання визначається комплексом механічних і фізико-хімічних властивостей (з врахуванням різних видів навантажень): міцністю на прокол, опором надриву, надрізу і продавлюванню, тепло- і морозостійкістю, атмосферо- і біостійкістю [1, 9–12]. При збільшенні температури спостерігається зниження міцності, проте в невеликому температурному інтервалі, в якому здійснюється додаткова орієнтація молекул, міцність зростає. Тривалий вплив змінних температур понижує величину міцності на розрив, зріз та згин. Процеси деструкції, які порушують молекулярну структуру матеріалу, з часом приводять до незворотних змін міцнісних і бар'єрних властивостей полімерних плівок. Особливо небезпечні термо- і фотоокислювальна деструкція, яка розвивається за ланцюговим механізмом. Окисленню поліолефінів сприяє присутність в повітрі сильних окислювачів таких як озон, SO₂, NO₂, H₂O₂ [1, 7, 13].

Введення у склад полімерного матеріалу додатків та наповнювачів неодмінно приводить до зниження міцнісних характеристик покриття, що найбільш ймовірно проявляється саме із його довготривалим використанням. Встановлено, що навіть невелика кількість летких аміних інігібіторів атмосферної корозії металів (нітриту дициклогексиламіну – НДА, циклогексиламінбензоату – ЦГАБ чи дициклогексиламіну бензоату – ДЦГАБ) приводять до початкових порушень структури захисного матеріалу, які особливо вагомо себе проявляють у довгостроковому інтервалі, коли, фактично з-за леткості, інігібітор відсутній [14].

Проте структурні процеси, які були запущені додатками у перші етапи експлуатації покриття, найбільше проявляються у вигляді деструкційних дефектів, розростанні пор та тріщин з причини зростання внутрішніх напружень у матеріалі (рис. 1) [15].

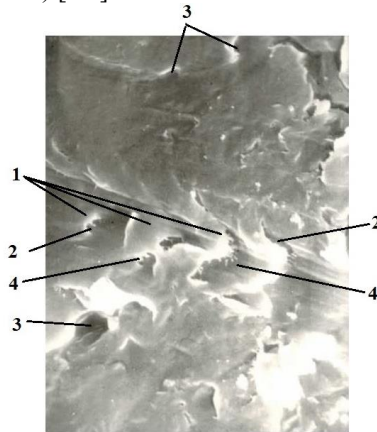


Рис. 1. Мікрофотографія дефектності поверхні поліетиленової плівки з додатками інігібітора 1 ваг. % ЦГАБ при старінні 7 років; X 4000:

1 – нагромадження кристалів поліетилену; 2 – тріщини, що виникли з-за росту кристалів; 3 – пори на межі розділу “аморфна-кристалічна фаза”; 4 – голчасті кристали поліетилену, які з-за розігрівання скануючим електронним променем мікроскопа впили на розміщені нижче утворення

Таку дефектність описують як виникнення напружень у матеріалі на межі аморфної та кристалічної фаз, які на початкових етапах експлуатації присутні в захисних бар'єрних матеріалах приблизно у рівній кількості (подібна пропорція задовольняє вимоги до матеріалу пакування з гнучкості, міцнісних та бар'єрних характеристик). В процесі старіння дефектність посилюється з-за вибіркової дії додатків інігібітора, незначна присутність якого сприяє збільшенню кристалічності полімерного матеріалу. На 7-му році старіння це чітко проявляється в утворенні великих полімерних кристалів, їх нагромадженні та рості голчатих кристалічних утворень (на мікрофотографії голчасті кристали вийшли зменшеними та оплавленими з-за теплової дії електронного променя мікроскопу).

Розвиток та посилення дефектності достатньо тонкого матеріалу приводить до зміни фізико-хімічних та механічних характеристик матеріалу. Незначна трансформація структури приводить до помітного зростання величин дифузійних характеристик – значення коефіцієнта газопроникності P , коефіцієнта паропроникності P_{H_2O} та швидкості перенесення водяної пари WVTR (water vapor transmission rate) зростають. Різні захисні полімерні матеріали мають розмаїті значення дифузійних характеристик, які приведені у [16]. Для прикладу, самий найпоширеніший захисний полімерний матеріал – поліетилен, характеризується досить великими значеннями P – від $\sim 2 \cdot 10^{-11}$ до $\sim 9 \cdot 10^{-10} \frac{cc \cdot cm}{cm^2 \cdot s \cdot cmHg}$ (для поліетилену високої (ПЕВГ) та

низької (ПЕНГ) густини). Широкий розкид за показниками коефіцієнта киснепроникності та інших дифузійних характеристик залежить від модифікації матеріалу, присутності та кількості додатків, технології виготовлення, механічних навантажень тощо [16]. Безперечно, що наявність у матеріалі навіть невеликої кількості хімічно агресивних компонент призведе до значних змін структури та фізичних властивостей (рис. 2).

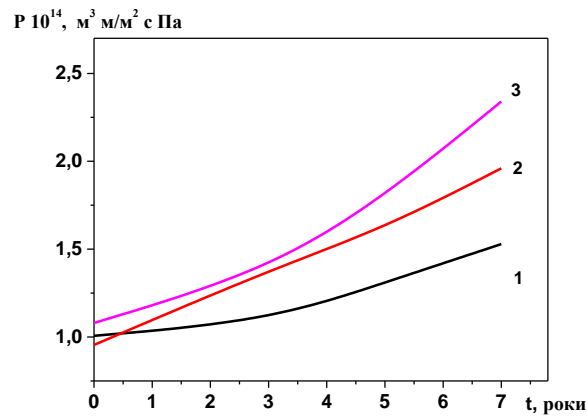


Рис. 2. Часові зміни коефіцієнта киснепроникності поліетиленових плівок в умовах закритого складування (вимірювання у пакеті за зміною сили струму датчика кисневої деполаризації): 1 – ПЕНГ (h = 160 мкм); 2 – ПЕНГ + 1 ваг. % ДЦГАБ (h = 175 мкм); 3 – ПЕНГ + 1 ваг. % ЦГАБ (h = 165 мкм)

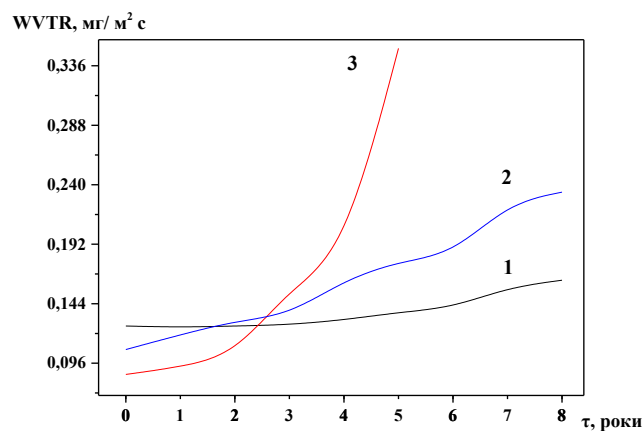


Рис. 3. Зміна паропроникності модифікованих полімерних матеріалів, які підлягали старінню у складських умовах протягом 8 років (дослідження ваговим методом, використовуючи металеві стаканчики та зварні пакети): 1 – ПЕНГ; 2 – ПЕНГ + 0,5 ваг. % ДЦГАБ; 3 – ПЕНГ + 1 ваг. % ЦГАБ

Експертиза стосовно доцільності застосування того чи іншого виду протикорозійного захисту у вигляді полімерних плівок, які містять інгібітор газової корозії, часто визначається конструктивними особливостями об'єкту захисту та переважним видом металу, який у ньому використовується. Наприклад, у великогабаритних конструкціях, що підлягають довготривалому зберіганню, доцільно застосовувати комбінований захист – бар'єрна ізоляція виробу немодифікованими плівками із внесенням у внутрішній захисний простір пакування матеріалів, насичених леткими засобами інгібування газової корозії. Для великих трубних конструкцій при зберіганні використовують аналогічний комбінований захист: зовнішній – на основі смолистих матеріалів, а внутрішньотрубний (при закритті внутрішнього об'єму) – матеріалами із леткими інгібіторами газової корозії. Крім цього, слід звернути увагу на вид та доступність для використання інгібітора газової корозії, незважаючи на широке поширення та застосування інгібіторів на основі амінів. У ряді випадків доцільно застосовувати інші матеріали (пасиватори, протектори корозії або високоякісні бар'єрні покриття) чи методи протикорозійного захисту [17, 18].

Одним із методів довготривалого зберігання та консервації металовиробів із використанням гнучких полімерних покриттів є застосування модифікованих матеріалів, які, крім інгібітора газової корозії, містять пластифікатори чи інші допоміжні добавки. Встановлено, що додавання до складу інгібованої плівки пластифікатора значно гальмує процес кристалотворення у матриці, структура тривалий час залишається однорідна з відповідним співвідношенням аморфної та кристалічної фази. Малі кількості пластифікатора нерідко сприяють загальному збільшенню міжмолекулярної взаємодії, впорядкуванню структур і підвищенню щільності полімерів, в результаті чого можливо навіть зниження вихідної проникності полімера. Зміна дифузійних характеристик за тривалий час незначна, якщо введена кількість пластифікатора (в основному до 5 ваг. %) не викликає структурних змін чи перетворень. Хоча слід зазначити можливість зростання деяких дифузійних характеристик із додаванням пластифікатора для високоеластичного стану полімеру чи при недостатньо виважені підборі складових та технологічних режимів формування плівки [16].

Негативним проявом пластифікації полімерних матеріалів є, в основному, зміна естетичних характеристик – помутніння плівки, виділення масних утворень, загальна замисленість, які проявляються залежно від виду пластифікатора та умов експлуатації на 3–7 рік (рис. 4). Проте міцнісні та дифузійні

характеристики залишаються в межах вимог по зберіганню металопродукції тривалий час.



Рис. 4. Виділення пластифікатора на поверхні поліетиленової плівки, в склад якої введений інгібітор та пластифікатор, підданої старінню протягом 10 років. Виникнення колонії квазікристалічних шароподібних утворень вказує на значну дефекти матеріалу, через які на поверхню проходять виділення незв'язаних із матрицею додатків X 2000.

Висновки

Розгляд та експертиза захисних антикорозійних плівок для зберігання металопродукції повинні проходити за певними критеріями, які, в свою чергу, визначаються термінами експлуатації, можливостями збереження та якістю об'єктів пакування. Врахування основних вимог до характеристик плівок антикорозійного захисту дає змогу у короткі терміни підібрати пакувальний полімерний плівковий матеріал, який би запобігав псуванню металопродукції.

Література

1. Доманцевич Н.І. Інгібіторний захист промислової продукції : монографія. Львів : Вид-во Львівської комерційної академії, 2003. 130 с.
2. Goldade V.A., Pinchuk L.S., Makarevich A.V., Kestelman V.N. *Plastics for Corrosion Inhibition*. Berlin (Germany): Springer-Verlag Heidelberg, 2005. 393 p.
3. Brydson J.A. *Plastics materials*. Oxford: Butterworth-Heinemann Linacre House, 1999. 949 p.
4. Chanda M., Salil K. Roy. *Plastics technology handbook*. Boca Raton: CRC Press (Taylor & Francis Group), 2006. 896 p.
5. Broughton W.R., Maxwell A.S. *Measurement good practice guide No. 103: Accelerated environmental ageing of polymeric materials*. Teddington, Middlesex (UK): National Physical Laboratory, 2007. 103 p.
6. Broughton W.R., Maxwell A.S. *Measurement good practice guide No. 103: Accelerated environmental ageing of polymeric materials*. Teddington, Middlesex (UK): National Physical Laboratory, 2007. 103 p.
7. Harvey J.A. *Chemical and physical aging of plastics*. Handbook of Environmental Degradation of Materials (ed. Myer Kutz). N.Y.: William Andrew Publishing, 2005. 612 p. P. 153–163. ISBN: 0-8155-1500-6.
8. Доманцевич Н.І., Яцишин Б.П. Старіння полімерних матеріалів: фактори впливу, методи досліджень, моделювання та прогнозування процесів : монографія. Львів : Видавництво Львівського торговельно-економічного університету, 2023. 184 с. ISBN 978-617-602-328-9.
9. Carraher (Jr) C.E. *Seymour/Carraher's Polymer Chemistry*. 6 ed. NY: Marcel Dekker, Inc, 2003. 902 p.
10. Yang Y. *Thermal Conductivity*. Physical properties of polymers handbook (2 edition). Ed. James E. Mark. NY: Springer Science + Business Media, LLC, 2007. P. 155–163.
11. Kvelen, van, D. W., K. te Nijenhuis. *Properties of polymers: their correlation with chemical structure: their numerical estimation and prediction from additive group contributions*. 4 ed. Oxford: Elsevier, 2009. 1031 p.
12. Brostow W. *Mechanical Properties*. Physical properties of polymers handbook (2 edition). Ed. James E. Mark. NY: Springer Science + Business Media, LLC, 2007. P. 423–445.
13. Kholodovych V., William J. Welsh. *Thermal-Oxidative Stability and Degradation of Polymers*. Physical properties of polymers handbook (2 edition). Ed. James E. Mark. NY: Springer Science + Business Media, LLC, 2007. P. 927–938.
14. Доманцевич Н.І., Яцишин Б.П. Зміна механічних властивостей поліетиленових плівкових матеріалів при їх модифікації технологічними додатками та під час старіння. ФХТТ, 2020. 21 (3). С. 510–518.
15. Доманцевич Н.І. Структуро- та дефектоутворення при довготривалому старінні інгібованих полімерних плівок. Фізика і хімія твердого тіла. 2003. Т. 4, № 2. С. 323–328.
16. Аксіментьєва О.І., Доманцевич Н.І., Яцишин Б.П. Дифузійні характеристики тонкоплівкових полімерних матеріалів та методи їх вимірювання : монографія. Львів: Видавництво Львівського торговельно-економічного університету, 2018. 140 с.
17. Sastri V. S. *Green corrosion inhibitors: theory and practice*. New Jersey: John Wiley & Sons, 2011. 328 p.
18. Bardal E. *Corrosion and protection*. London: Springer-Verlag, 2004. 328 p.

References

1. Domantsevych N.I. Inhibitoryi zakhyst promyslovoi produktsii : monohrafiia. Lviv : Vyd-vo Lvivskoi komertsii noi akademii, 2003. 130 s.
2. Goldade V.A., Pinchuk L.S., Makarevich A.V., Kestelman V.N. Plastics for Corrosion Inhibition. Berlin (Germany): Springer-Verlag Heidelberg, 2005. 393 p.
3. Brydson J.A. Plastics materials. Oxford: Butterworth-Heinemann Linacre House, 1999. 949 p.
4. Chanda M., Salil K. Roy. Plastics technology handbook. Boca Raton: CRC Press (Taylor & Francis Group), 2006. 896 p.
5. Broughton W.R., Maxwell A.S. Measurement good practice guide No. 103: Accelerated environmental ageing of polymeric materials. Teddington, Middlesex (UK): National Physical Laboratory, 2007. 103 p.
6. Broughton W.R., Maxwell A.S. Measurement good practice guide No. 103: Accelerated environmental ageing of polymeric materials. Teddington, Middlesex (UK): National Physical Laboratory, 2007. 103 p.
7. Harvey J.A. Chemical and physical aging of plastics. Handbook of Environmental Degradation of Materials (ed. Myer Kutz). N.Y.: William Andrew Publishing, 2005. 612 p. P. 153–163. ISBN: 0-8155-1500-6.
8. Domantsevych N.I., Yatsyshyn B.P. Starinnia polimernykh materialiv: faktory vplyvu, metody doslidzhen, modeliuvannia ta prohnozuvannia protsesiv : monohrafiia. Lviv : Vydavnytstvo Lvivskoho torhovelno-ekonomichnoho universytetu, 2023. 184 s. ISBN 978-617-602-328-9.
9. Carraher (Jr) C.E. Seymour/Carraher's Polymer Chemistry. 6 ed. NY: Marcel Dekker, Inc, 2003. 902 p.
10. Yang Y. Thermal Conductivity. Physical properties of polymers handbook (2 edition). Ed. James E. Mark. NY: Springer Science + Business Media, LLC, 2007. P. 155–163.
11. Krevelen, van, D. W., K. te Nijenhuis. Properties of polymers: their correlation with chemical structure: their numerical estimation and prediction from additive group contributions. 4 ed. Oxford: Elsevier, 2009. 1031 p.
12. Brostow W. Mechanical Properties. Physical properties of polymers handbook (2 edition). Ed. James E. Mark. NY: Springer Science + Business Media, LLC, 2007. P. 423–445.
13. Kholodovych V., William J. Welsh. Thermal-Oxidative Stability and Degradation of Polymers. Physical properties of polymers handbook (2 edition). Ed. James E. Mark. NY: Springer Science + Business Media, LLC, 2007. P. 927–938.
14. Domantsevych N.I., Yatsyshyn B.P. Zmina mekhanichnykh vlastyvostei polietylenovykh plivkovykh materialiv pry yikh modyfikatsii tekhnolohichnymy dodatkamy ta pid chas starinnia. FKhTT, 2020. 21 (3). S. 510–518.
15. Domantsevych N.I. Strukturno- ta defektoutvorennia pry dovhotryvalomu starinni inhibovanykh polimernykh plivok. Fizyka i khimiia tverdoho tila. 2003. T. 4, № 2. S. 323–328.
16. Aksimentieva O.I., Domantsevych N.I., Yatsyshyn B.P. Dyfuziini kharakterystyky tonkoplivkovykh polimernykh materialiv ta metody yikh vymiriuvannia : monohrafiia. Lviv: Vydavnytstvo Lvivskoho torhovelno-ekonomichnoho universytetu, 2018. 140 s.
17. Sastri V. S. Green corrosion inhibitors: theory and practice. New Jersey: John Wiley & Sons, 2011. 328 p.
18. Bardal E. Corrosion and protection. London: Springer-Verlag, 2004. 328 p.