

АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ НАУКОВОГО ТА ПРАКТИЧНОГО МАТЕРІАЛОЗНАВСТВА

УДК 620.193.2

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, митної справи та управління якістю,
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,

Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів

ЗАСТОСУВАННЯ ПОЛІМЕРНИХ ПЛІВОК З ІНГІБІТОРАМИ КОРОЗІЇ ДЛЯ ТИМЧАСОВОГО ЗАХИСТУ МЕТАЛОВИРОБІВ

Анотація. Процес корозії спричиняє не тільки великі витрати через необхідність переробки або заміни виробів, а може значно похитнути ринкову позицію виробників. Компанії щороку недораховують зі свого бізнесу мільярди доларів – виключно через корозію. Використання модифікованих полімерних плівок з інгібіторами атмосферної корозії дає змогу змінити перебіг корозійного процесу протягом періоду експлуатації в сторону сповільнення. У статті розглянуто теоретичні та практичні аспекти застосування протикорозійних матеріалів. Розглянуто класифікацію полімерних плівок, що застосовують одночасно як пакувальний матеріал та для протикорозійного захисту. Наведено вихідні експлуатаційні характеристики таких модифікованих полімерних матеріалів та можливі напрями їх зміни відповідно до потреб споживачів. Показано особливості застосування інгібіторів корозії в процесі розробки та використання в комплексі полімерних матеріалів захисту. Визначено взаємодію інгібіторів з полімерною матрицею-основою та іншими складовими компонентами, передусім пластифікаторами, з метою отримання протикорозійного матеріалу для захисту під час транспортування та зберігання. Встановлено вплив складових компонентів полімерних композицій на тривалість експлуатації та можливість їх довготривалого використання. Встановлено, що мінімальну кількість інгібітора, що вводять у полімер, слід вибирати розрахунково-експериментальним шляхом, враховуючи умови утворення мінімальної допустимої концентрації летких парів у замкненому об'ємі з металовиробами і пролонгованість дії та міграції компонент із полімерної матриці. Максимальну кількість інгібітора корозії, який вводять у полімер, вибирають експериментальним шляхом, з огляду на умови отримання плівки та інтенсивність процесу переходу інгібітора в газоподібний стан.

Ключові слова: полімерні плівки, протикорозійний захист, інгібітори атмосферної корозії, пластифікатори, міжопераційний захист від корозії.

Domantsevych N. I.,

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

Researcher ID F-3069-2019,

*Doctor of Engineering, Professor, Professor at the Department of Commodity Research,
Customs Business and Quality Management,
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 at the Department of Electronic Devices
Lviv Polytechnic National University, Lviv*

APPLICATION OF POLYMER FILMS WITH CORROSION INHIBITORS FOR TEMPORARY PROTECTION OF METALWARE

Abstract. *The corrosion process not only causes high expenses due to the need to recycle or replace products, but can significantly shake the market position of manufacturers. Companies every year underreceipt billions of dollars from their business – solely due to corrosion. The use of modified polymer films with atmospheric corrosion inhibitors makes it possible to change the course of the corrosion process during the period of operation in the direction of deceleration. The theoretical and practical aspects of anticorrosive materials application are considered in the article. The classification of polymer films used both as packaging material and for corrosion protection is considered. The initial operational characteristics of such modified polymeric materials and possible directions of their change according to the customers needs are given. Features of application of corrosion inhibitors at development and use in a mix of protection polymeric materials are shown. The interaction of inhibitors with the polymer matrix-base and other components, primarily plasticizers, in order to obtain anti-corrosion material for protection during transportation and storage is determined. The influence of the constituent components of polymer compositions on the service life and the possibility of their long-term use is revealed. It is determined that the minimum amount of inhibitor introduced into the polymer should be selected by calculation and experiment, taking into account the conditions of formation of the minimum allowable concentration of volatile vapors in a closed volume with metalware and the prolongation of action and migration of components from the polymer matrix. The maximum amount of corrosion inhibitor that is introduced into the polymer is chosen experimentally, taking into account the conditions of the film creation and the intensity of the process of the inhibitor transition to the gaseous state.*

Key words: polymer films, corrosion protection, atmospheric corrosion inhibitors, plasticizers, interoperational corrosion protection.

JEL Classification: L60; L69.

DOI 10.36477/2522-1221-2021-27-01

Постановка проблеми. Щорічно витрати на корозію у всьому світі становлять 2,2 трлн дол. США, що становить понад 3% світового ВВП. Відповідно, втрати від розвитку корозійного процесу для країн Європи оцінюють у понад 200 млрд євро. Відома американська асоціація корозіоністів NACE (National Association of Corrosion Engineers) в аналітичному огляді про міжнародні заходи запобігання, застосування та економічні аспекти корозійних технологій показала, наскільки масштабною та дорогою у вирішенні є проблема корозії. На думку фахівців NACE, надзвичайно важливо, щоб усі організації, дотичні до вирішення проблеми захисту від корозії, розробляли комплексні нормативні документи щодо системи управління корозією. За наявності такої системи втрати від промислової корозії можна зменшити на 15–35%, що становить значну суму щодо світового ВВП [1–2].

Загалом процес корозії спричиняє не тільки великі витрати через необхідність переробки або заміни виробів, а може значно похитнути ринкову позицію виробників. Компанії щороку недораховують зі свого бізнесу мільярди доларів – виключно через корозію.

Проблема антикорозійного захисту об'єднала фахівців різних галузей. Важливим наприя-

мом роботи є гармонізація стандартів та практики у всьому світі, а також обмін інформацією та обмін технологіями щодо зменшення корозії та її впливу на захист навколишнього середовища та збереження ресурсів.

Слід зазначити, що з метою уникнення втрат захист металевих виробів здійснюють на усіх етапах життєвого циклу із застосуванням низки сучасних матеріалів. При цьому тимчасовий захист металевих виробів займає особливе місце, оскільки покликаний захистити вироби до моменту початку їх експлуатації і може бути різної тривалості. Тимчасовий захист металевих виробів може здійснюватися як міжопераційний процес, під час транспортування виробів та їх зберігання.

Протягом останніх років для захисту металевих виробів від корозії широко використовують полімерні плівки з модифікуючими добавками, які виступають одночасно бар'єрним та захисним матеріалом. Використання інгібіторів атмосферної корозії у складі полімерного матеріалу дозволяє створити універсальний та вискоєфективний спосіб захисту від корозійних пошкоджень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вивченню питань формування полімерних композицій, розробленню технології отримання модифікованої полімерної плівки, розгляду меха-

нізму захисту металевих виробів полімерними матеріалами із вмістом модифікуючих компонентів присвячені роботи низки науковців, а саме: Я.М. Золотовіцького, Л.С. Пінчука, В.А. Гольдаде, А.В. Макаревича, В.Н. Кестельмана, А.С. Невєрова, R.T. Kean, В.А. Miksic та інших [3–8].

Всі сучасні найефективніші способи протикорозійного тимчасового захисту та консервації металевих поверхонь ґрунтуються загалом на двох напрямках: ізоляції металевої поверхні від агресивного середовища та заповненні приповерхневого шару хімічно активними парами інгібіторів корозії або пасиваторів поверхні.

Умови застосування конкретного антикорозійного покриття чи способу захисту визначаються здебільшого з урахуванням типу (марки) матеріалу, який необхідно захистити, кількістю та розмірами об'єктів захисту, станом поверхні, конструкцією металовиробу, який захищають, метеорологічними умовами під час упакування чи нанесення покриття, часом захисту, типом матеріалу захисту, сумісністю матеріалів.

Так, у роботах [3–5] висвітлено проблеми розроблення полімерних композицій, показано можливості використання полімерних матеріалів із метою тимчасового захисту металевих виробів шляхом їх ізоляції від впливу корозійних агентів. Авторами показано, що використання полімерних плівкових матеріалів дає змогу поєднати бар'єрні характеристики та протикорозійні властивості. Важливо, що розроблені окремі види протикорозійних плівок залежно від потреби захисту металевих виробів, включаючи багат шарові, усадкові та розтягуючі плівки з регульованою адгезією, демпферними шарами повітря, а також газонаповненими (спіненими) і наповненими рідиною прошарками.

Гальмування розвитку процесу корозії металевих виробів залежить від ефективності дії інгібіторів. У роботах авторів [9–17] подано основні класи інгібіторів корозії, які застосовують для захисту металевих виробів, їх характеристики та переважне застосування.

Розширення асортименту інгібіторів корозії відбувається за рахунок новітніх розробок, передусім екологічного спрямування. Так, автори О.Е. Чигиринець та В.І. Воробйова [18–19] запропонували легкі інгібітори атмосферної корозії на основі органічних речовин рослинного походження. Автори вважають, що, оскільки природна сировина, як правило, містить велику кількість біологічно активних речовин, процес виділення їх здебільшого вигідніший, ніж хімічний синтез інших матеріалів.

Актуальним, проте найбільш важким із позиції досягнення позитивних результатів є пошук комплексного системного підходу до проблеми захисту металевих великогабаритних виробів, виготовлених із різних металів та сплавів.

Застосування полімерних матеріалів із модифікуючими компонентами дає змогу поєднати бар'єрні та інгібуючі механізми захисту металевих виробів та створювати «розумні» антикорозійні полімерні системи.

Проведений аналіз наукових досліджень із застосування протикорозійних полімерних матеріалів свідчить про важливість наукових робіт, які стосуються питань формування полімерних матеріалів, впливу складових елементів на властивості та їх зміну під час експлуатації.

Постановка завдання. Мета дослідження полягає в аналізі сучасного асортименту протикорозійних полімерних матеріалів та вивченні впливу складу композиції на властивості полімерних плівок із модифікуючими додатками.

Виклад основного матеріалу дослідження. Провідні виробники захисних пакувальних матеріалів пропонують нові розробки, які покращують захист металевих виробів та зменшують матеріальні витрати на процес пакувального виробництва [20–23].

Прикладом є протикорозійні плівки, розроблені корпорацією Cortec, які подано у табл. 1 [20].

Новинкою є запровадження нанотехнологій у процес захисту металовиробів у полімерній плівці Корпорації Cortec типу EcoStretch на базі введення нанододатків Nano VpCl, що сприяє забезпеченню захисту металевих виробів із різних металів (включаючи алюміній, оцинковану сталь, нержавіючу сталь, мідь, латунь, чавун) (рис. 1) [21].



Рис. 1. Протикорозійна плівка типу EcoStretch

Протикорозійні плівки виробництва корпорації Cortec [20]

№ з/п	Назва плівки	Характеристика	Призначення
1	Cortec Milcorg VpCI Посилена антикорозійна термозбіжна плівка з леткими інгібіторами корозії (ЛПК)	Містить ЛПК, які захищають чорні і кольорові метали. Продукти ЛПК випаровуються і разом із вологою конденсуються на всіх металевих поверхнях у межах закритого простору упаковки.	Консервація військового обладнання, промислового обладнання, експортна упаковка для великогабаритного дорого-вартісного обладнання
2	Cortec VpCI-126 Плівка поліетиленова антикорозійна з ЛПК	Захищає від корозії виробу з чорних і кольорових металів при зберіганні і транспортуванні на термін до 5 років. Не містить амінів, фосфатів і хроматів	Антикорозійна плівка Cortec VpCI-126 допущена Federal Drug Administration (США) для використання в упаковці харчових контейнерів і харчового обладнання
3	VpCI-126 HP UV Shrink Film Посилена термозбіжна плівка з ЛПК і захистом від ультрафіолету	Поєднує високоміцні полімери, стабілізатори ультрафіолетового випромінювання і ЛПК. На відміну від інших антикорозійних плівок, в які ультрафіолет відбивається за рахунок білого пігменту, VpCI-126 HP UV Shrink Film містить у складі унікальні інгібітори, які захищають полімери від УФ-випромінювання та перешкоджає руйнуванню плівки.	Ця сучасна композиція матеріалів забезпечує захист від корозії деталей, обладнання і транспортних засобів із чорних і кольорових металів до трьох років, навіть в умовах агресивного середовища.
4	Cortec VpCI-126 shrink	Плівка поліетиленова антикорозійна термоусадкова з ЛПК. Захищає від корозії виробу з чорних і кольорових металів при зберіганні і транспортуванні на термін до 5 років. Не містить амінів, фосфатів і хроматів.	Антикорозійна плівка Cortec VpCI-126 допущена Federal Drug Administration (США) для використання в упаковці харчових контейнерів і харчового обладнання
5	Cortec VpCI-126 bags Пакети з антикорозійної плівки з ЛПК	Захищають від корозії виробу з чорних і кольорових металів при зберіганні і транспортуванні на термін до 5 років. Не містять амінів, фосфатів і хроматів.	Антикорозійна плівка Cortec VpCI-126, з якої виробляються пакети, допущена Federal Drug Administration (США) для використання в упаковці харчових контейнерів і харчового обладнання на заміну антикорозійним поліетиленовим плівкам.
6	METALBOLD Багатошарова полімерна термоусадкова плівка підвищеної міцності, стійка до УФ-випромінювання	Metalbold проводиться методом спі-векструзії кількох видів полімерів, що володіють винятковими технічними характеристиками. Плівка має високу міцність на розривання, стійка до проколів, а також відрізняється високим ступенем усадки під час нагрівання. Характерний сріблястий колір забезпечує стійкість до дії ультрафіолетових променів, дозволяючи плівці зберігати свої властивості протягом тривалого часу.	Матеріал використовують для упаковки обладнання під час транспортування на великі відстані, в т.ч. морським транспортом, зберігання на відкритих площадках, за прямої дії опадів
	Cor-Pak VpCI Stretch Film високоякісна стрейч-плівка з ЛПК	Антикорозійна стрейч-плівка з добрими міцнісними характеристиками	Розроблена для захисту від корозії чорних та кольорових металів

Інший відомий виробник протикорозійних матеріалів – корпорація Zerust – поряд із низкою пакувальних матеріалів виготовляє протикорозійні пакувальні плівки з леткими інгібіторами VCI, які конденсуються на металевих поверхнях.

Перебіг процесу захисту реалізується різними шляхами, а саме: за рахунок пасивації потоку електронів між анодом і катодом на поверхні металу, формування фізичного гідрофобного шару, який перешкоджає прямому

попаданню води і вологи на металеву поверхню та утворенню електроліту, регулювання величини рН електроліту. Для отриманих матеріалів визначальною характеристикою має бути простота використання пакувань, відсутність додаткової обробки, адаптованість до розмірів металевих виробів, що сприяє економії місця зберігання та зменшує час підготовки до використання, а також уможливує повторну переробку використаних матеріалів [23–25].

Протикорозійні плівки корпорації Zerust використовують для захисту металевих виробів із чорних та кольорових металів та їх сплавів. Антикорозійні полімерні плівки застосовують під час транспортування та зберігання металевих виробів у різних галузях промисловості, а саме: автомобілебудування, приладобудування, електроніка, ювелірна промисловість тощо.

Полімерні плівки корпорації Zerust, які забезпечують захист, випускаються в різних модифікаціях, що визначає подальше застосування. Вирізняють чотири марки протикорозійної плівки, залежно від металів та сплавів захисту: марка Ц – синя (захист кольорових металів); марка Ч – жовта (захист чорних металів); марка С – захист магнію, срібла, марганцю, а також їх сплавів; марка ММ – захист комбінації металів та сплавів, а також олова, нікелю, цинку, алюмінію.

Як було зазначено вище, полімерні плівкові матеріали з протикорозійними додатками використовують із метою запобігання розвитку корозійного процесу на поверхні металевих виробів. До цих матеріалів висувають низку вимог, які стосуються забезпечення процесу зберігання виробів із металів та гарних фізико-механічних характеристик матеріалів.

Під час проведення механізації та автоматизації процесів пакування полімерними плівко-

вими матеріалами необхідно враховувати методи їх виготовлення, здатність до зварювання або склеювання за доволі низьких температур, оптимальний коефіцієнт тертя того чи іншого конструкційного матеріалу. Безумовно, важливим є вирішення проблеми, що стосується збору та утилізації використаних полімерних пакувальних матеріалів.

У процесі проведення досліджень нами було вибрано як полімерну основу поліетилен низької густини (ПЕНГ). У плівку під час виготовлення вводили інгібітори атмосферної корозії 0,5–1,0 ваг. % (ДЦГАБ – дициклогексиламін бензоат, ЦГАБ – циклогексиламінбензоат) та пластифікатори дибутилфталат (ДБФ) та диоктилфталат (ДОФ).

Вибір інгібіторів корозії зумовлений високою ефективністю їх дії під час захисту металевої поверхні, широким температурним інтервалом застосування, сумісністю з компонентами та матрицею, величиною тиску насиченої пари та низькими токсичними властивостями. Пластифікатори вводили до складу полімерної матриці з метою полегшення переробки і сприяння суміщенню інгібіторів з основою [26].

Встановлено, що введення інгібіторів корозії в полімерну матрицю підвищує термічну стабільність матеріалу, що виявляється в підвищенні температури плавлення, – спостерігається зміщення ендотермічного піку в бік вищих температур (табл. 2)

Для полімерної плівки термічний розклад настає в області 498–500 К, тоді як наявність інгібіторів (0,5–1,0 ваг. %) зміщує його на 5–10 К у бік вищих температур. Підвищення вмісту інгібіторів корозії спричиняє позитивний ефект на стійкість покриттів до термоокиснювальної деструкції.

Таблиця 2

Вплив інгібіторів на термічну стійкість модифікованих поліетиленових плівок

Склад плівки	Температура плавлення $T_{пл.}, K$	Температура максимального окиснення T, K	Втрати маси в мг (%) за температури	
			523 К	543 К
			мг	мг
ПЕНГ	378	498	2,5	3,0
ПЕНГ + 1% ЦГАБ	386	503	1,0	1,7
ПЕНГ + 1% ЦГАБ (6 років старіння)	388	503	1,0	1,7
ПЕНГ + 1% ДЦГАБ	385	503	0,9	1,6
ПЕНГ + 1% ДЦГАБ (6 років старіння)	388	503	0,9	1,6
ПЕНГ + 1% ДЦГАБ + 0,5 ДБФ (6 років старіння)	385	504	0,8	1,5

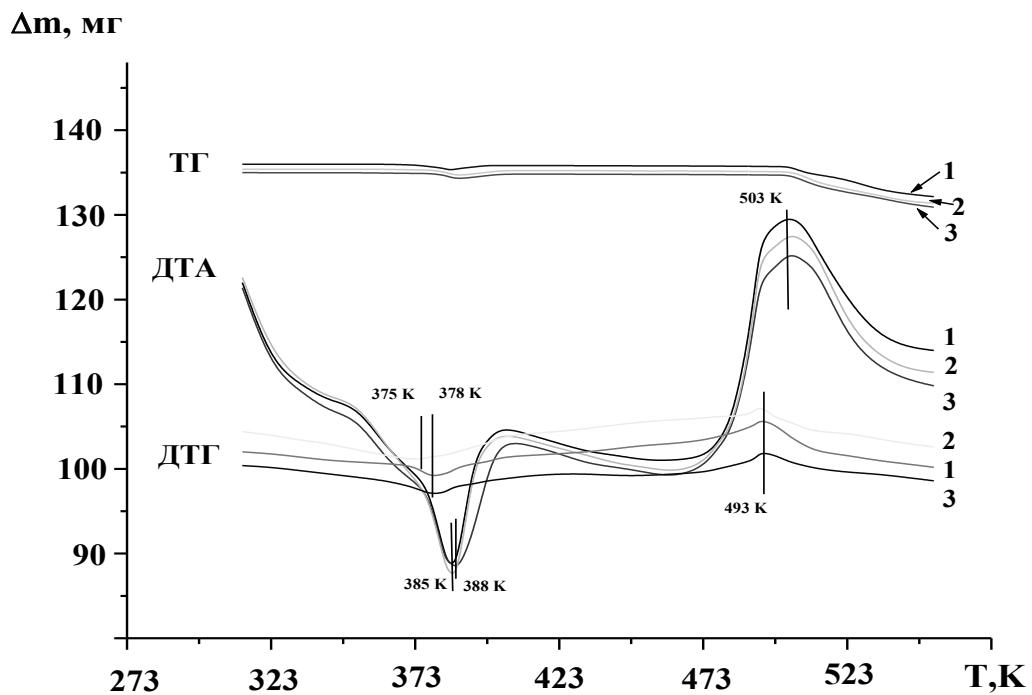


Рис. 2. Термограми модифікованих поліетиленових плівок, які піддали старінню в складських умовах
 1 – ПЕВТ + 1 ваг. % ДЦГАБ (вихідний зразок); 2 – ПЕВТ + 1 ваг. % ДЦГАБ (6 років старіння); 3 – ПЕВТ + 1 ваг. % ДЦГАБ + 0,5 ваг. % ДБФ (6 років старіння)

Термоцикловання полімерної матриці спричиняє підвищення ступеня кристалічності, зменшення кількості бічних груп та зростання температури плавлення. Однак введення до полімерної матриці незначних додатків інгібіторів приводить до збільшення кількості бічних груп і одночасного збільшення кристалізаційних явищ. Такий процес зумовлює виникнення в полімерній матриці дрібнокристалічних утворень у разі збільшення їх загальної частки. Це виявляється в підвищенні температури плавлення в разі зменшення інтервалу плавлення, оскільки розкид кристалітів за розмірами значно менший. Одночасне додавання інгібітора на основі амінів та пластифікатора (ДОФ, ДБФ) приводить до зміни нахилу ендотермічного піку та розширення температурного інтервалу плавлення (рис. 2).

Таким чином, модифікація поліетиленових плівок леткими інгібіторами атмосферної корозії на основі амінів (ЦГАБ, ДЦГАБ) неодмінно приводить до змін у властивостях матеріалу основи, а саме: збільшення кристалізації зразків, появи дрібнозернистих утворень і внаслідок цього підвищення температури плавлення.

Висновки і перспективи подальших досліджень у цьому напрямі. Проведений аналіз літературних джерел та результати власних досліджень показують, що широке застосування

протикорозійних полімерних плівок зумовлене поєднанням бар'єрних та протикорозійних властивостей. Протикорозійна активність полімерних плівок залежить від хімічного складу, структури та дифузійних характеристик полімерної плівки. Використовуючи як модифікуючі добавки леткі інгібітори атмосферної корозії з достатньо високими температурами плавлення і розкладу та можливістю сумісно перероблятися в композиції з поліетиленом низької густини, необхідно враховувати термодинамічні показники з випаровування складника. Мінімальну кількість інгібітора, що вводять у полімер, слід вибирати розрахунково-експериментальним шляхом, враховуючи умови утворення мінімальної допустимої концентрації летких парів у замкненому об'ємі з металовиробами і пролонгованість дії та міграції компонент із полімерної матриці. Максимальну кількість інгібітора корозії, який вводять у полімер, вибирають експериментальним шляхом, з огляду на умови отримання плівки та інтенсивність процесу переходу інгібітора в газоподібний стан. Подальші дослідження варто спрямувати на вивчення впливу складників полімерної композиції на структуру та властивості полімерної плівки, а також вплив факторів експлуатації на їх зміну.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Raising Awareness about corrosion and corrosion protection around the world. URL: <https://corrosion.org/Corrosion+Resources/Publications.html>.

2. The cost of corrosion. URL: <https://www.zerust.com/blog/2019/10/02/the-cost-of-corrosion/>.

3. Консервационные материалы на основе ингибированного полиэтилена / Я.М. Золотовицкий, В.А. Гольдаде, А.С. Неверов, В.С. Усс. *Защита металлов*. 1980. Т. 16, № 5. С. 630–634.

4. Пинчук Л.С., Гольдаде В.А., Макаревич А.В. Ингибированные пластики : монография. Гомель : ИММС НАНБ, 2004. 491 с.

5. Plastics for corrosion inhibitions / V.A. Goldade, L.S. Pinchuk, A.V. Makarevich, V.N. Kestelman. Berlin : Springer-Verlag, 2005. 384 p.

6. Введение в систематику умных материалов / Л.С. Пинчук, В.А. Гольдаде, С.В. Шилько, А.С. Неверов. Минск : Беларуск. навука, 2013. 399 с.

7. Макаревич А.В. Физико-химические и технологические принципы создания активных пленочных и волокнистых материалов на основе термопластов : автореф. дис. ...докт. хим. наук. Минск, 2000.

8. Belarus Patent 1943, С 08 J 5/18. Method of production of polymer film / L.S. Pinchuk, A.V. Makarevich, I.V. Tsarenko. Publ. 30.12.1997.

9. Kestelman V.N., Pinchuk L.S., Goldade V.A. Electrets in Engineering: Fundamentals and Applications. Boston-Dordrecht-London, Kluwer Academic, 2000. 273 p.

10. Печерский Г.Г., Приходько И.В., Неверов А.С. Создание и исследование полимерных антикоррозионных композиционных материалов. *ПОЛИКОМТРИБ-2011* : тезисы докладов международной научно-технической конференции. Гомель : ИММС НАНБ, 2011. С. 177–178. URL: <https://mpri.org.by/assets/files/matconf/polycomtrib2011-thezis-.pdf>.

11. Ингибиторы коррозии и защитные материалы на нефтяной основе / Ю.Н. Шехтер, С.А. Муравьева, Н.В. Кардаш, И.Ю. Ребров. *Защита металлов*. 1995. Т. 31, № 2. С. 191–200.

12. Rozenfeld I.L. Corrosion Inhibitors. New York, NY : McGrawHill, 1981. 327 p.

13. Розенфельд И.Л., Персианцева В.П. Ингибиторы атмосферной коррозии. Москва : Наука, 1985. 327 с.

14. Доманцевич Н.І. Інгібіторний захист промислової продукції : монографія. Львів : Вид-во ЛКА, 2003. 160 с.

15. Кузнецов Ю.И., Андреев Н.Н., Маршakov А.И. Физико-химические аспекты ингибирования коррозии металлов. *Журнал физической химии*. 2020. Т. 94, № 3. С. 381–392.

16. Данякин Н.В., Сигида А.А. Современные летучие ингибиторы атмосферной коррозии (обзор). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-letuchie-ingibitory-atmosfernoy-korrozii-obzor>.

17. Коляда В.Г., Тарасюк Е.В. Методы исследования защитной способности упаковочных материалов, содержащих летучие ингибиторы коррозии. URL: <https://chermetinfo.elpub.ru/jour/article/viewFile/1014/983>.

18. Чигиринець О.Е., Воробйова В.І. Протикорозійні властивості екстракту шроту ріпаку як леткого інгібітора атмосферної корозії сталі. *Фізико-хімічна механіка матеріалів*. 2013. Т. 49, № 3. С. 39–45. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/PHKhMM_2013_49_3_8.

19. Інгібітор атмосферної корозії / Чигиринець О.Е., Воробйова В.І., Гальченко Г.Ю.: пат. 67190. Україна: МПК7 С 23F 11/00. // № u 201107645; заявл. 17.06.2011; опубл. 10.02.2012, бюл. № 3.

20. VCI Film for Anti-Corrosion Packaging. URL: <https://www.cortecvci.com/cortec-vci-films/>.

21. Cortec launches compostable corrosion inhibiting stretch film. URL: <https://packagingsouthasia.com/type-of-packaging/cortec-vpci/>.

22. Perfect for Electronics: Cortec® Bags Offer Dual Corrosion and Static Protection! URL: <https://www.cortecvci.com/perfect-for-electronics-cortec-bags-offer-dual-corrosion-and-static-protection/>.

23. VCI Packaging Films. URL: <https://www.zerust.com/products/vci-packaging-films/>.

24. 7 Benefits of VCI Packaging Materials. URL: <http://www.centuryflexpkg.com/Blog/TabId/94/ArtMID/435/ArticleID/34/7-Benefits-of-VCI-Packaging-Materials.aspx>.

25. Improved Packaging Film with Vapor Phase Inhibitors, High Recycle Content / Robert T. Kean, Boris A. Miksic. FNACE on 5/4/2020. URL: <https://www.materialsperformance.com/articles/material-selection-design/2017/05/improved-packaging-film-with-vapor-phase-inhibitors-high-recycle-content>.

26. Доманцевич Н.І., Яцишин Б.П. Паропроникність тонкоплівкових композитних матеріалів на основі поліетилену. *Фізика і хімія твердого тіла*. 2019. Т. 20, № 3. С. 291–299.

REFERENCES:

1. Raising Awareness about corrosion and corrosion protection around the world, available at: <https://corrosion.org/Corrosion+Resources/Publications.html>.

2. The cost of corrosion, available at: <https://www.zerust.com/blog/2019/10/02/the-cost-of-corrosion/>.

3. Zolotovyskyj, Ya.M., Hol'dade, V.A., Neverov, A.S., and Uss, V.S. (1980), Konservatsyonnye materyaly na osnove ynhybyrovannoho polyetylena, *Zaschyta metallov*, Т. 16, № 5, s. 630–634.

4. Pynchuk, L.S., Hol'dade, V.A., and Makarevych, A.V. (2004), Ynhybyrovannye plastyky : monohrafyia, YMMS NANB, Homel', 491 s.

5. Goldade, V.A., Pinchuk, L.S., Makarevich, A.V., and Kestelman, V.N. (2005), *Plastics for corrosion inhibitions*, Springer-Verlag, Berlin, 384 p.
6. Pynchuk, L.S. Hol'dade, V.A. Shyl'ko, S.V. and Neverov, A.S. (2013), *Vvedeniye v systematyku umnykh materialov*, Belarusk. navuka, Mynsk, 399 s.
7. Makarevych, A.V. (2000), *Fyzyko-khymycheskye y tekhnolohycheskye pryntsyipy sozdaniya aktyvnykh plenochnykh y voloknystykh materialov na osnove termoplastov* : avtoref. dysc. ...dokt. khym. nauk, Mynsk.
8. Belarus Patent 1943, C 08 J 5/18. Method of production of polymer film / L.S. Pinchuk, A.V. Makarevich, I.V. Tsarenko. – Publ. 30.12.1997.
9. Kestelman, V.N. Pinchuk, L.S. and Goldade, V.A. (2000), *Electrets in Engineering: Fundamentals and Applications*. Boston-Dordrecht-London, Kluwer Academic, 273 p.
10. Pecherskyj, H.H. Prykhod'ko, Y.V. and Neverov, A.S. (2011), *Sozdanye y yssledovanye polymernykh antykorrozyonnykh kompozytsyonnykh materialov, POLYKOMTRYB-2011* : tezysy dokladov mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferentsyy, YMMS NANB, Homel', s. 177–178, available at: <https://mpri.org.by/assets/files/matconf/polycomtrib2011-thezis-.pdf>.
11. Shekhter, Yu.N. Murav'eva, S.A. Kardash, N.V. and Rebrov, Y.Yu. (1995), *Ynhybytory korrozii y zaschytnye materialy na neftianoj osnove, Zashchita metallov*, T. 31, № 2, s. 191–200.
12. Rozenfeld, I.L. (1981), *Corrosion Inhibitors*, McGrawHill, New York, NY, 327 p.
13. Rozenfel'd, Y.L. and Persyantseva, V.P. (1985), *Ynhybytory atmosferno korrozii*, Nauka, Moskva, 327 s.
14. Domantsevych, N.I. (2003), *Inhibitorynyy zakhyst promyslovoi produktsii* : monohrafiia, Vyd-vo LKA, L'viv, 160 s.
15. Kuznetsov, Yu.Y. Andreev, N.N. and Marshakov, A.Y. (2020), *Fyzyko-khymycheskye aspekty ynhybyrovaniya korrozii metallov, Zhurnal fizycheskoj khymyy*, T. 94, № 3, s. 381–392.
16. Daniakyn, N.V. and Syhyda, A.A. *Sovremennye letuchye ynhybytory atmosferno korrozii (obzor)*, available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-letuchie-ingibitory-atmosfernoy-korrozii-obzor>.
17. Koliada, V.H. and Tarasiuk, E.V. *Metody yssledovaniya zaschytnoy sposobnosti upakovochnykh materialov, sodержaschykh letuchye ynhybytory korrozii*, available at: <https://chermetinfo.elpub.ru/jour/article/viewFile/1014/983>.
18. Chyhrynets', O.E. and Vorobjova, V.I. (2013), *Protykorozijnni vlastyvoli ekstraktu shrotu ripaku iak letkoho inhibitora atmosferno korrozii stali, Fizyko-khimichna mekhanika materialiv*, T. 49, № 3, s. 39–45, available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/PHKhMM_2013_49_3_8.
19. *Inhibitor atmosferno korrozii* / Chyhrynets' O.E., Vorobjova V.I., Hal'chenko H.Yu.: pat. 67190. Ukraina: MPK7 S 23F 11/00. // № u 201107645; zaiavl. 17.06.2011; opubl. 10.02.2012, biul. № 3.
20. *VCI Film for Anti-Corrosion Packaging*, available at: <https://www.cortecvci.com/cortec-vci-films/>.
21. *Cortec launches compostable corrosion inhibiting stretch film*, available at: <https://packagingsouthasia.com/type-of-packaging/cortec-vpci/>.
22. *Perfect for Electronics: Cortec® Bags Offer Dual Corrosion and Static Protection!*, available at: <https://www.cortecvci.com/perfect-for-electronics-cortec-bags-offer-dual-corrosion-and-static-protection/>.
23. *VCI Packaging Films*, available at: <https://www.zerust.com/products/vci-packaging-films/>.
24. *7 Benefits of VCI Packaging Materials*, available at: <http://www.centuryflexpkg.com/Blog/TabId/94/ArtMID/435/ArticleID/34/7-Benefits-of-VCI-Packaging-Materials.aspx>.
25. *Improved Packaging Film with Vapor Phase Inhibitors, High Recycle Content* / Robert T. Kean, Boris A. Miksic. – FNACE on 5/4/2020, available at: <https://www.materialsperformance.com/articles/material-selection-design/2017/05/improved-packaging-film-with-vapor-phase-inhibitors-high-recycle-content>.
26. Domantsevych, N.I. and Yatsyshyn, B.P. (2019), *Paropronyknist' tonkoplivkovykh kompozytnykh materialiv na osnovi polietylenu, Fizyka i khimiia tverdoho tila*, T. 20, № 3, s. 291–299.

Стаття надійшла до редакції 20.08.2021