

*Юрій ГЕТЬМАНЧУК,  
Богдан ПАСАЛЬСЬКИЙ*

## **ЗАСТОСУВАННЯ ПОЛІМЕРІВ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ПАКУВАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ**

Упаковка – це засіб, який зберігає товар від пошкоджень, сприяє його безпечному транспортуванню, збереженню та продажу. Саме тому в сучасній промисловості неможливе виробництво товарів без належного упакування.

Для пакування харчових продуктів і непродовольчих товарів використовують різні матеріали, але найбільшого поширення набули полімерні.

Мета роботи – висвітлення історії виникнення, характеристики властивостей та перспектив застосування полімерів, з яких виготовляються матеріали для пакування.

Єдиними матеріалами для збереження води та продуктів харчування у наших предків були шкіри тварин та деревина, основу яких

складали природні, або біополімери. Незважаючи на появу великої кількості синтетичних полімерів, ці матеріали популярні й сьогодні. Шкіряні бурдюки з обробленої овечої шкурки й досі використовуються народами Азії та Європи для зберігання й транспортування води, вина, кумису, що пов'язано з міцністю, волого- та газонепроникністю шкіри. Ці властивості надає їй біополімер – білок колаген (грец. *kola* – клей; *genes* – народжений). Це найбільш розповсюджений білок, який є основою сполучної тканини тварин і людини (шкіри, сухожиль, кісток, хрящів). На частку колагену припадає понад 70 % білків шкіри. Сам колаген – неїстівний білок, а продукт гідролізу колагену – желатина – використовується в харчуванні.

У 1803 р. Дж. Дальтон уперше вивів формули білків альбуміну та желатини як речовин, що містять азот [1]. У той час не існувало поняття "полімери", і тільки через майже 120 років Г. Штаудінгер ввів його як "макромолекула", що викликало критику з боку більшості вчених. Лише через 30 років прийшло визнання, а її автор у 1953 р. одержав Нобелівську премію. Десятки років вчені не могли зрозуміти молекулярну будову колагену. Перший доказ того, що колаген має постійну структуру на молекулярному рівні, виник у середині 30-х років минулого сторіччя [2]. Із того часу багато видатних вчених (включаючи нобелівських лауреатів): Ф. Крік, Л. Полінг, О. Річ, А. Йонат, Х. Берман, В. Рамачандран працювали над розшифруванням будови цього біополімеру [3]. Виявилось, що макромолекула колагену – це вправо закручена спіраль, яка складається з трьох білкових ланцюгів. Молекулярна маса колагену майже 300 000, довжина спіралі 300 нм, товщина 1.5 нм [4].

Деревину використовують для виготовлення тари й сьогодні (відра, діжки, ящики тощо). Із неї добувають біополімер целюлозу, яка складається з ланок 1,4-в-D-глюкози. Целюлоза (франц. *cellulose* від лат. *cellula* – комірка, клітка), або клітковина, – складова клітинних стінок вищих рослин. Макромолекула целюлози – це прямий стрижень, у якого кожна наступна D-глюкопіранозна ланка обернена на 180° відносно попередньої.

У клітинах рослин целюлоза утворюється в результаті фотосинтезу, і залежно від рослини її макромолекула може містити від 1400 до 13 000 ланок. Хвойні дерева містять понад 60 % целюлози, листяні – 40. Вата з бавовни – майже чиста целюлоза (96 %). Вона зовсім не схожа на тверду й міцну деревину, оскільки остання є хімічною композицією двох полімерів – лігніну та целюлози. Ця композиція нагадує залізобетон, де молекули целюлози за своїми властивостями відповідають арматурі, а лігнін, що має велику стійкість до стиснення, виступає як бетон. Цим саме пояснюється твердість і міцність деревини [5].

Лігнін (лат. *lignum* – дерево) – ароматичний природний полімер, який входить до складу наземних рослин [6]. Після целюлози лігнін – найрозповсюджений біополімер, якому належить важлива роль у природному круговороті вуглецю. Зобразити структуру лігніну досить складно, оскільки він має трьохвимірну просторову будову, як фенопласт, вулканізована гума та багато інших зшитих синтетичних полімерів. Лігнін міцно фізично й хімічно інкорпорований у структурі рослинної тканини, тому ефективно вилучення його промисловими методами є досить складним завданням. Щорічно у світі виробляють майже 70 млн т технічних лігнінів.

У 1998 р. у Німеччині фірмою "Текнаро" розроблено технологію виготовлення арбоформу – матеріалу, який отримав назву "рідка деревина". У 2000 р. під Карлсруе відкрито завод із виробництва біопластику, сировиною для якого є лігнін, волокна льону або коноплі. За своєю зовнішньою формою арбоформ у твердому стані схожий на пластик, але має властивості полірованої деревини. Перевагою "рідкої деревини" є можливість її багаторазової переробки шляхом переплавки. Цей екологічно безпечний матеріал може використовуватися для пакування харчових і промислових товарів. За даними *International Lignin Institute* (США), у світі для промислових, медичних, сільськогосподарських та інших галузей використовується не більше 2 % технічного лігніну, решта – спалюється в енергетичних пристроях.

Отже, основним напрямом переробки деревини є целюлоза. Саме цей біополімер і продукти його хімічної модифікації входять до складу найпоширеніших пакувальних матеріалів. У першу чергу – це папір. Значення його в нашому житті настільки значне, що, на думку французького бібліографа *A. Сіма*, нашу епоху можна назвати "паперовою ерою". Папір і картон були й залишаються одними з найважливіших пакувальних матеріалів (понад 40 % в цілому по індустрії пакування).

Аркуш паперу (один із чотирьох великих китайських винаходів) був виготовлений із волокон дерева шовковиці та відходів виробництва прядива. Спочатку папір використовували тільки для пакування. У Росії його почали виготовляти в 1565 р. Для пакування звичайних товарів виробляли спеціально грубий і сірий, а для подарунків – вишуканий. Бакалійники користувалися пергаментним і воценим папером.

Найпростіша паперова упаковка – пакет. У старовину його робили по-різному, а в XIX ст. в Пенсильванії (США) сконструювали першу машину для виробництва паперових мішків. За часи громадянської війни в США різко впало виробництво бавовни, і випуск бавовняних мішків – найважливішої на той час тари для зерна, борошна та інших сипких продуктів – припинився, що й спричинило виготовлення паперової тари. Після 1860 р. американці не тільки

повністю забезпечили себе паперовими пакетами, а й почали експортувати машини для їх виробництва в різні країни. Суттєвим удосконаленням стала технологія виробництва пакетів із пласким дном, запатентована у 1870 р. *Л. Н. Кроуеллом*. Вони використовуються й сьогодні для пакування крупів, борошна, цукру, будівельних сумішей та інших товарів.

У другій половині XIX ст. ручним способом почали виготовляти пакувальний картон (він був досить дорогим). Одержували його трьома способами: відливом, пресуванням із декількох шарів вологого паперу та склеюванням. Пресований картон був найбільш міцний та гнучкий, що давало змогу робити з нього коробки без вигинів, тобто круглої та овальної форми – для капелюхів, тортів і дорогих цукерок.

Порівняно новий вид пакувального картону – комбінована багат шарова упаковка для напоїв, молочних продуктів, соків, вина та інших рідин. Безумовний монополіст у цьому виробництві компанія *Tetra Pak*, якій належить третина світового ринку, розробила процес асептичної упаковки молока. Першу машину для такої тари запустили в 1961 р. у Швейцарії. У СРСР в 1972 р. було відкрито п'ять великих пакувальних підприємств, де виробляли ламінований картон для молочних пакетів у формі тетраедра. Основою для них був папір, який з одного боку покривали поліетиленом і наносили маркування продукту методом флексодруку, а з іншого – парафінували. Цей не дуже міцний матеріал у рулонах поставлявся на молокозаводи. Там з нього робили рукав, що нарізався на окремі сегменти, які зварювали. Значна частка пакетів-тетраєдрів протікала, і харчова промисловість СРСР втрачала не 10, як у Західній Європі, а 50 % упакованих таким чином продуктів харчування. Від протікання позбавилися лише через десять років, коли впровадили автомати для розливу *Elopak* і, крім пакетів "тетрабрик" і "тетрапак", почали виробляти міцні та жорсткі високі пакети "пюрпак" із імпортованого матеріалу. В 1985 р. у Москві запустили власне виробництво картонних матеріалів для асептичного пакування. Парафінування залишилося в минулому. Сьогодні картон-основа просто ламінується з двох боків поліетиленом або каптується фольгою.

Виробництво складених коробок перетворилося в цілу галузь завдяки гофрованому картону. На сьогодні коробки з нього досягли значних розмірів і слугують відмінною тарою для перевезення різних товарів, включаючи меблі. В усьому світі захисники природи виступають проти використання ламінованого картону, який погано піддається утилізації, і вітають застосування натурального, невідбіленого, екологічно чистого. Така ситуація стимулює випуск різноманітного пакування з гофрокартону, який вже не вважається занадто простим та грубим у виготовленні невеликих коробок для окремих предметів, посуду та інших товарів.

У 1935 р. у Великій Британії вперше була вироблена прозора полімерна плівка, яку назвали целофаном [7]. Целюлоза не розчиняється у більшості розчинників, але її можна перевести у розчин тимчасово, а потім знову осадити. За такою технологією виробляють віскозний шовк і целофан. Спочатку целюлоза довгий час витримується в концентрованому розчині NaOH для утворення алкоголяту (лужної целюлози), після чого реагує зі сірковуглецем, утворюючи розчинний у воді ксантогенат целюлози. В'язкий (лат. – *viscosus*) розчин останнього, що має назву "віскоза", через щільову фільтру випускається у ванну з розведеною сульфатною кислотою, де регенерується вихідна целюлоза (так звана гідратцелюлоза), але вже у вигляді прозорої плівки.

Целофан є дешевим і поширеним пакувальним плівковим матеріалом. Він гігроскопічний, і протягом доби, перебуваючи у воді, збільшує свою масу вдвічі. Плівка целофану має солодкий присмак, оскільки до неї додають для пластифікації майже 30 % гліцерину. У ній випускаються ковбаси й сосиски. Целофан застосовується також для пакування подарунків одноразового використання, наприклад квітів.

Значне місце в створенні різноманітної тари належить виробам із неорганічних природних полімерів, серед них – глина. Перші вироби з неї були крихкими, боялися води, тому зберігати в них можна було лише зерно та інші сухі продукти. Однак пізніше, в епоху мезоліту, людина помітила, що глина під дією тепла стає міцною, як камінь. Із того часу люди почали випалювати вироби з глини для надання їм міцності. Таке перетворення глини з часом одержало назву "кераміка" (грец. – "глина"). Приблизно в IV тисячолітті до н. е. глиняний посуд почали прикрашати орнаментом. Споживча тара з кераміки використовується й зараз, наприклад для деяких алкогольних напоїв.

Найбільш досконалий вид кераміки – фарфор, або порцеляна, – вперше з'явився в Китаї в I ст. Слово "фарфор" на мові фарсі означає "імператорський". Він відрізняється від кераміки водонепроникністю, дзвінкістю, білістю.

Одним із важливих матеріалів для пакування є скло. До сьогодні не встановлено, як і де воно вперше одержано. Відомо лише, що вироби зі скла виготовлялися ще в Давньому Єгипті. Звичайне скло, яке необхідне для виготовлення банок і пляшок, отримують при сплавленні в спеціальних печах суміші соди ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), вапняку ( $\text{CaCO}_3$ ) та білого піску ( $\text{SiO}_2$ ). Таким чином, і кераміка, і скло складаються із природних неорганічних полімерів [8].

Перший скляний посуд виник у Єгипті та Сирії в другій половині IV тисячоліття до н. е. Це були пляшечки та флакони невеликої місткості (20–50 мл) для косметики та парфумів. Вироблялася скляна тара методом формування пасти із кварцового піску навкруги метале-

вого стрижня, який нагрівався до високої температури. Розм'якшена скляна маса намотувалася на нього, і коли скло остигало, стрижень виймали. Одержану заготовку шліфували та прикрашали.

Складувна трубка вперше виникла в Сирії, але широкого розповсюдження складувна технологія набула в Давньому Римі. Майже через десять років після падіння Римської імперії центром скляного виробництва стала Венеціанська республіка. Вироби з венеціанського скла довгий час були предметами розкоші.

Міцні товстостінні пляшки та пляшки з темного скла почали виробляти в XVII ст. в Англії завдяки появі там склоплавних печей на кам'яному вугіллі. За новою технологією виробництво скла стало дешевшим і оперативним, а пляшки та флакони із предметів розкоші перетворилися в зручну та доступну тару, придатну для різних продуктів.

У XIX ст. інтенсивно розвивалося виробництво склотари в Росії завдяки технології машинного "лиття" пляшок із наданням їм точної геометричної форми. З часом кожному напою в Росії відповідала пляшка певної конфігурації та кольору: пивна, лікерна, кон'ячна, пляшка проста, столова, для шампанського тощо. Особливою популярністю користувався штоф – чотирикутна місткість з короткою шийкою. Зараз оригінальна скляна тара стала неодмінним атрибутом багатьох напоїв-брендів.

Синтетичні полімери відкрито в XIX ст., а на кінець XX ст. їхнє світове виробництво досягло 130 млн т на рік. Одним із найважливіших напрямів використання цих матеріалів є упаковка, і вже з 1975 р. синтетичні полімери вийшли на третє місце після скла, паперу та картону як пакувальні матеріали. Із усіх синтетичних пластиків, що випускаються в світі, 41 % застосовується для пакування, причому 47 % цієї кількості використовується на упаковку харчових продуктів. Зручність і безпека, низька ціна, високі естетичні можливості є визначальними умовами прискореного росту застосування синтетичних полімерів для виготовлення упаковки.

У 1835 р. французьким гірничим інженером і хіміком *А. Реньо* у лабораторних умовах уперше був синтезований полівінілхлорид (ПВХ). Учений провів деякі дослідження, однак, не одержавши цікавих результатів, втратив інтерес до випадково відкритої речовини. У 1913 р. німецький хімік *Ф. Клатте* отримав патент на виробництво ПВХ. Перша світова війна завадила вченому зайнятися дослідженням властивостей і можливостей застосування ПВХ, і виробництво полімеру було зупинено. Проте *Ф. Клатте* вважається засновником промислового виробництва полівінілхлориду. Лише в 1931 р. всесвітньо відомим німецьким концерном BASF (*Badische Anilin und Soda-Fabrik* – Бадівська фабрика з виробництва аніліну та соди) виготовлено перші тонни цього матеріалу [9].

Мономером для ПВХ слугує вінілхлорид ( $\text{CH}_2=\text{CHCl}$ ) – безбарвний газ зі слабким запахом, температурою кипіння 13,9, замерзання – мінус 160 °С. Вінілхлорид – сильна отрута, яка справляє на людину канцерогенну, мутагенну та тератогенну дію. А в ПВХ така дія на організм людини відсутня. 80 % ПВХ отримують способом радикальної суспензійної полімеризації. Молекулярна маса ПВХ 30–150 тис.; густина – 1,35–1,43 г/см<sup>3</sup>; температура склування 75–80, топлення – 150–220 °С. При температурі вище 110–120 °С ПВХ починає розкладатися з утворенням хлористого водню (HCl). Полівінілхлорид стійкий до дії вологи, кислот, лугів, бензину, жирів, спиртів. Із нього виробляють пакувальну плівку. Існує думка, що пакування в ПВХ-плівку харчових продуктів може чинити негативний вплив на організм людини [7]. Також проблематичний процес утилізації – при спалюванні виробів із полівінілхлориду утворюються високотоксичні хлорорганічні сполуки.

Вважається, що кращими полімерами для виготовлення пакувальних матеріалів є поліолефіни, до яких відносяться поліетилен і поліпропілен. Винахідником поліетилену визнається німецький хімік *Г. фон Пехманн*, який уперше випадково синтезував його ще в 1899 р., однак це відкриття не одержало на той час розповсюдження.

Друге життя поліетилену розпочалося в 1933 р. завдяки англійським інженерам *Е. Фосету* та *Р. Гібсону*. Його промислове виробництво вперше реалізовано в Англії в 1933 р. відомою фірмою *Imperial Chemical Industries (ICI)*. Полімеризація відбувалася при температурі 180–200 °С і тиску 140 МПа (1400 атмосфер) у присутності пероксиду бензоїлу. Тільки в таких умовах етилен полімеризується з достатньою швидкістю. Пізніше цей полімер одержав назву – "поліетилен високого тиску" (ПЕВТ) [10].

Спочатку поліетилен використовували у виробництві телефонного кабелю і лише у 1950-х рр. почали застосовувати для пакування харчових продуктів, хоча лідерами упаковки залишалися целофан і ПХВ.

Світове виробництво поліетилену та поліпропілену становило у 2008 р. майже 120 млн т на рік (45 % усіх синтетичних полімерів), причому поліетилен займає перше місце. Найбільшу частину серед поліетиленів становить ПЕВТ. Його отримують радикальною полімеризацією при тиску до 300 МПа і температурі до 300 °С в присутності кисню (при безперервному процесі в трубчастих реакторах) або органічних пероксидів (при періодичному режимі в автоклавах з мішалками).

Формується ПЕВТ литтям під тиском, екструзією та пресуванням. Він плавиться при 105–107 °С, але вироби з нього можуть експлуатуватися тільки до 60 °С – коли він не розм'якшується, і не нижче мінус 70 °С – доки він не стає крихким. ПЕВТ не розчиняється

при кімнатній температурі в органічних розчинниках, а за температури вище 70 °С набухає і розчиняється в хлорованих і ароматичних вуглеводнях.

Менше 30 % поліетилену випускається як гомополімер. Основна маса полімерів на основі етилену – це кополімери з невеликою кількістю (до 20 %) інших олефінів (наприклад, бутену-1). Такі кополімери характеризуються кращими механічними властивостями порівняно з гомополімером. Для них характерна висока стійкість до розтріскування під навантаженням. Широке розповсюдження одержали кополімери етилену з 5–30 % вінілацетату, які об'єднані назвою – "севілен". Він прозоріший за поліетилен, еластичніший за нього при низьких температурах, краще розчиняється в органічних розчинниках і поширений для пакування.

У 1954 р. директор Хімічного інституту в м. Мюльхеймі (ФРН) *К. Циглер* (1898–1973) зробив сенсаційне відкриття: на системі  $(C_2H_5)_3Al + TiCl_4$  отримав поліетилен при звичайному тиску та кімнатній температурі – так званий поліетилен низького тиску (ПЕНТ). Властивості ПЕВТ і ПЕНТ дуже відрізняються. Останній застосовується там, де потрібна підвищена жорсткість і теплостійкість, а також мала проникність. Якщо перший популярний для пакування товарів, то другий – для виробів технічного призначення.

У тому ж 1954 р. професор Міланського політехнічного інституту *Дж. Натта* (1903–1979) модернізував новий ініціатор *Циглера*, замінивши в ньому  $TiCl_4$  на  $TiCl_3$ , і вперше одержав високомолекулярний поліпропілен. Уже через кілька років і ПЕНТ, і поліпропілен почали виробляти в промисловому масштабі, а комплекси  $(C_2H_5)_3Al \cdot TiCl_4$  та  $(C_2H_5)_3Al \cdot TiCl_3$  стали відомими як "каталізатори Циглера-Натта" [11]. Особливістю цих каталізаторів є те, що в їх присутності утворюються стереорегулярні полімери, які *Натта* назвав ізотактичними ( $-CH_2-CHX-CH_2-CHX-$ ) та синдіотактичними ( $-CH_2-CHX-CH_2-CH_2-$ ). У 1963 р. обидва вчені отримали за ці відкриття Нобелівську премію. Новий вид полімеризації одержав назву "координаційно-йонна полімеризація". Промисловість виготовляє лише ізотактичний поліпропілен, який має найкращі експлуатаційні параметри. Ступінь його кристалічності дорівнює 75 %, плавиться при 172 °С, не розчиняється у більшості органічних розчинників. Середньочислові молекулярні маси його промислових марок перебувають у межах від 75 000 до 200 000.

Поліпропілен – багатотоннажний продукт хімічної промисловості, за обсягом виробництва серед поліолефінів поступається лише поліетилену. Формується пресуванням, литтям під тиском, екструзією. Він зварюється та склеюється. Його можна напилювати на метал, покривати ним папір, картон і тканини. Плівки з поліпропілену прозоріші та міцніші за поліетиленові. Однак поліпропілен менш морозостійкий ( $T_c \geq -20$  °С). Вироби з поліпропілену відрізняються легкіс-



тю, високою стійкістю до води, органічних розчинників, розчинів солей, кислот і основ. Із нього виробляють різноманітні посудини технічного та побутового призначення, труби, плівки, волокно.

Найчастіше для пакування сипких продуктів зараз використовують біаксіально (двувісно) орієнтовані, тобто розтягнуті в перпендикулярних напрямках, плівки поліпропілену. Цей пакувальний матеріал має позитивні властивості: низьку густину, що зумовлює знижену вагу тари; високу міцність (до 150 МПа); дуже низьку водопроникність; високу прозорість і глянець; невелику вартість.

Синтетичний полімер, який за масштабами використання для пакування займає друге місце після поліолефінів, називається "поліетилентерефталат" (ПЕТ), або "лавсан".

У 1928 р. викладач Гарвардського університету *У. Х. Карозерс* (1896–1937) очолив групу органічної хімії з пошуку нових синтетичних полімерів, завдяки якій у середині 30-х рр. фірма "Дюпон" почала масовий випуск першого синтетичного волокна – поліаміду *найлону*. *Карозерс* запропонував назву *nylon*, використавши перші букви назв міст Нью-Йорка та Лондона, де велися ці роботи.

Паралельно створенню найлону *Карозерс* сподівався одержати волокнуотворювальні аліфатичні поліестери, але всі вони виявилися низькоплавкими й неміцними. Більше пощастило співробітникам англійської фірми *ICI Дж. Уінфілду* та *Дж. Діксону*, які в 1941 р. синтезували ПЕТ. Через кілька років ця фірма розпочала випуск поліетилентерефталатного волокна *терілен*. Незабаром в США виготовили таке волокно тільки під іншою назвою – "*дакрон*", а в СРСР в 60-х рр. – *лавсан* (від назви організації, яка розробляла технологію виробництва, – Лабораторія високомолекулярних сполук Академії наук) [12].

До появи ПЕТ єдиним синтетичним волокном був поліамід. Лавсан відрізнявся від найлону вищим модулем пружності та розривною міцністю. Сировиною для промислового виробництва лавсану є диметилтерефталат і етиленгліколь.

Другим напрямом використання лавсану на початку 60-х рр. стали плівки. Для них найкращим є полімер з молекулярною масою 23 000–26 000. Формується плівка екструзією з розплаву. При температурі, вищій за склування (85–100 °С), аморфна фаза лавсану переходить до високоеластичного стану, і плівка легко розтягується. Цей процес супроводжується орієнтацією макромолекул і веде до кристалізації. Орієнтація може проводитись як в одному, так і в двох перпендикулярних напрямках. В останньому випадку досягається найбільша ступінь кристалічності та найвища міцність плівок, які випускають завтовшки 2–300 мкм. Міцність при їх розтягуванні більша в 2.5 раза, ніж у плівок з ацетату целюлози, в 10 разів, ніж з поліетилену, і в 2–3 рази, ніж у алюмінієвої фольги відповідної товщини.

Третє народження лавсан пережив наприкінці 80-х рр. Його стійкість до дії кисню та вуглекислоти привели до широкого застосування ПЕТ у виробництві тари для зберігання мінеральної води, газованих безалкогольних напоїв і пива. За цей час світове виробництво лавсану майже подвоїлося. Лавсанові пляшки та бутлі швидко увійшли в побут, і утилізація їх стала екологічною проблемою. Із цього приводу слід зауважити, що ПЕТ – один із небагатьох полімерів, які можуть перероблятися у вихідні мономери, або цінні за властивостями олігомери. Так, у присутності ацетату цинку (катализатора поліконденсації діглікольтерефталату) при 150 °С проходить метаноліз лавсану майже із 100-процентним утворенням вихідних диметилтерефталату та етиленгліколю. При температурах вище 280 °С відбувається майже миттєвий гідроліз полімеру навіть водою. Особливо легко, за 5 хв., проходить деполімеризація лавсану в 10-процентному розчині гідразину в бутанолі при 100 °С.

Існує думка, що тара з ПЕТ та інших полімерів токсична. Проте сучасна оснащеність хімічних лабораторій дає змогу визначити навіть мінімальний рівень проникнення будь-яких речовин тари до харчового продукту. Дослідженнями, проведеними в максимально наближених до реального використання ПЕТ-тари умовах, встановлено практично повну відсутність проникнення хімічних речовин до харчових продуктів, що доводить повну безпеку полімеру для здоров'я людини. Безпека ПЕТ підтверджена FDA – Управлінням за контролем продуктів і ліків США. Не виявлено токсичності, у тому числі при дослідженні з тваринами та при аналізі ДНК [10].

Однак споживачі мусять бути поінформовані про правильне застосування тари з полімерних матеріалів. Наприклад, тара для розігрівання харчових продуктів у мікрохвильовій печі передбачена тільки для одноразового використання. Також відкритий напій у ПЕТ-пляшці краще зуживати одразу або зберігати в холодильнику. Не рекомендується повторне використання ПЕТ-тари для рідин, які в ній не містилися.

Щодо застосування полімерів для пакувальних матеріалів необхідно пам'ятати – скляна тара, як правило, перебуває у споживчому циклі, паперова піддається розкладу в природних умовах, а упаковка із синтетичних полімерів, що становить 40 % побутового сміття, не піддається розкладу, тому питання утилізації стає глобальною екологічною проблемою. Від її вирішення залежить екологічна ситуація у світі, а також темпи й напрями розвитку виробництва полімерів у XXI ст.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. *Шамин А. Н.* История химии белка / А. Н. Шамин. — М. : Наука, 1977. — 350 с.
2. *Степанов В. М.* Молекулярная биология / В. М. Степанов. — М. : Наука, 1996. — 334 с.
3. *Лауреаты* Нобелевской премии : энциклопедия ; пер. с англ. — М. : Прогресс, 1992. — Режим доступа : N-T.org. — (Электронная библиотека. Нобелевские лауреаты).
4. *Bailey A. J.* Molecular mechanisms of ageing in connective tissues / A. J. Bailey // *Mechanisms of Ageing and Development*. — 2001. — Vol. 122. — P. 735—755.
5. *Гетьманчук Ю. П.* Полімерна хімія / Ю. П. Гетьманчук. — К. : Київський ун-т, 2008. — 456 с.
6. *Энциклопедия полимеров*. — Т. 2. — М. : Советская энциклопедия, 1977.
7. *Энциклопедия полимеров*. — Т. 3. — М. : Советская энциклопедия, 1977.
8. *Спицын В. И.* Неорганическая химия / В. И. Спицын. — Ч. 1. — М. : Изд-во МГУ, 1991. — 480 с.
9. *Технология* пластических масс ; под ред. В. В. Коршака. — М. : Химия, 1976. — 608 с.
10. *Гетьманчук Ю. П.* Хімія та технологія полімерів / Ю. П. Гетьманчук, М. М. Братичак. — Л. : Бескід Біт, 2006. — 496 с.
11. *Гетьманчук Ю. П.* Хімія високомолекулярних сполук / Ю. П. Гетьманчук, М. М. Братичак. — Л. : Львів. політехніка, 2008. — 460 с.
12. *Братичак М. М.* Хімічна технологія синтезу високомолекулярних сполук / Ю. П. Гетьманчук, М. М. Братичак. — Л. : Львів. політехніка, 2009. — 416 с.