

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Факультет інженерних систем та екології  
кафедра технологій захисту навколишнього середовища та охорони праці

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  
ДО АТЕСТАЦІЙНОЇ РОБОТИ  
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТР**

на тему:

«Одержання одноразового посуду на основі термопластичного  
крохмалю»

Іщенко Олена Володимирівна

Київ 2023 р.

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Факультет інженерних систем та екології  
кафедра технологій захисту навколишнього середовища та охорони праці

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри ТЗНСтаОП

\_\_\_\_\_ Т.М. Ткаченко

„\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2023 року

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  
ДО АТЕСТАЦІЙНОЇ РОБОТИ  
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО РІВНЯ МАГІСТР  
«Одержання одноразового посуду на основі термопластичного  
крохмалю»**

Виконав студент групи зТЗНСм-61

Іщенко Олена Володимирівна

Спеціальність: 183«Технології захисту навколишнього середовища»

Керівник: д.т.н., проф. Ткаченко Т.М.

Рецензент: \_\_\_\_\_

Київ 2023 р

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Факультет інженерних систем та екології  
Кафедра технологій захисту навколишнього середовища та охорони праці  
Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр  
Спеціальність: 183«Технології захисту навколишнього середовища»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
Завідувач кафедри ТЗНС та ОП  
\_\_\_\_\_ Т.М. Ткаченко  
„\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2023 року

**ЗАВДАННЯ**

**на дипломну роботу студенту**

- 1.Тема роботи «Одержання одноразового посуду на основі термопластичного крохмалю»  
керівник роботи: д.т.н., проф. Ткаченко Т.М.  
затверджена наказом вищого навчального закладу від «\_\_\_» \_\_\_\_\_  
202\_\_ р. № \_\_\_\_\_
- 2.Строк подання студентом роботи «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 р.
- 3.Вихідні дані до роботи а) дані надані підприємством
- 4.Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Вступ. Загальна характеристика полімерної галузі та характеристика її впливу на навколишнє середовище. Характеристика полімерних матеріалів та способи їх переробки. Шляхи утилізації полімерних відходів. Характеристика термопластичного крохмалю та способи його переробки. Характеристика біорозкладних полімерних композицій. Світовий досвід використання біопластиків. Способи переробки біопластиків. Перспективи біорозкладного одноразового посуду в Україні Заходи щодо зменшення негативного впливу полімерних відходів на стан навколишнього середовища. Висновки. Список використаної літератури
5. Перелік графічного матеріалу а) Таблиці; б) Рисунки; в) Схеми. \_\_\_\_\_

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів випускної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітки
1	Екологічні проблеми виробництва полімерів	квітень	Виконано
2	Загальна характеристика одержання термопластичного крохмалю	травень	Виконано
3	Світовий досвід та види біопластику	вересень	Виконано
4	Перспективи біорозкладного одноразового посуду	вересень	Виконано
5	Поради та рекомендації щодо розробки одноразового посуду на основі термопластичного крохмалю	жовтень	Виконано
6	Висновки	листопад	Виконано
7	Список використаної літератури	листопад	Виконано
8	Остаточне оформлення роботи	листопад	Виконано
9	Направлення роботи на рецензування, перевірку на плагіат	грудень	Виконано
10	Попередній захист роботи на кафедрі	грудень	Виконано

### 7. Консультанти розділів атестаційної випускної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Перевірів	
		Дата	Підпис
Розділ 1.			
Розділ 2.			
Розділ 3.			
Розділ 4.			

8. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

Зав. кафедри	_____	Ткаченко Т.М.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Керівник	_____	Ткаченко Т.М.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Студент	_____	Іщенко О.В.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)

## Анотація

Структура та обсяг роботи. Робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, переліку використаної літератури та посилань. Робота містить 13 рисунків та 1 таблицю. Загальний обсяг магістерської роботи – 91 сторінка.

Сьогодні спостерігається тенденція до циркулярної економіки, в якій потребують перегляду моделі енергетики, управління ресурсами, виробництва та споживання через зростання населення розвинутих країн, надмірне використання пластику та його негативний вплив на навколишнє середовище. У контексті глобальної кризи, викликаної надмірним і необхідним сталим використанням синтетичної полімерної сировини, нам потрібно переоцінити виробництво товарів, приділяючи більше уваги харчовій упаковці, яка споживає менше енергії та регулює свій життєвий цикл, за рахунок біорозкладання.

Використання пластиків у всіх сферах життя населення країн світу фактично призводить до забруднення навколишнього середовища і є потенційно небезпечним чинником для здоров'я людини. Визначене місце займає одноразовий посуд, який традиційно використовується в індустрії харчування. Світовий ринок одноразового посуду налічує споживання 500–600 млрд одиниць на рік, з кожним роком спостерігається його збільшення.

Одним із перспективних шляхів розв'язання проблем використання та утилізації паперового одноразового посуду є розроблення технологій екологічно безпечних біопластиків як основи такого виду тари.

У відповідь на екологічні проблеми, спричинені скиданням полімерів на основі нафти як відходів в океани, проведено дослідження та розробка нових біокомпозитів.

*Ключові слова:* навколишнє середовище, забруднення, полімерні відходи, біопластик, термопластичний крохмаль.

## **Abstract**

Structure and scope of work. The work consists of an introduction, 4 chapters, conclusions, a list of used literature and references. The work contains 13 figures and 1 table. The total volume of the master's thesis is 91 pages.

Today, there are trends towards a circular economy, which requires a review of energy, resource management, production and consumption models due to the growth of the population of developed countries, the excessive use of plastic and its negative impact on the environment. In the context of the global crisis caused by the excessive and necessary sustainable use of synthetic polymer raw materials, we need to reevaluate the production of goods, paying more attention to food packaging that consumes less energy and regulates its life cycle through biodegradability.

The use of plastics in all spheres of life of the population of the countries of the world actually leads to environmental pollution and is a potentially dangerous factor for human health. The specified place is occupied by disposable tableware, which is traditionally used in the food industry. The world market of disposable tableware has a consumption of 500-600 billion units per year, and its increase is observed every year.

One of the promising ways to solve the problems of using and disposing of disposable paper tableware is the development of environmentally safe bioplastic technologies as the basis of this type of container.

In response to the environmental problems caused by the dumping of petroleum-based polymers as waste into the oceans, research and development of new biocomposites has been conducted.

*Key words:* environment, pollution, polymer waste, bioplastic, thermoplastic starch.

## ЗМІСТ

Вступ .....	11
Розділ 1 .....	14
<b>ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ВИРОБНИЦТВА ПОЛІМЕРІВ .....</b>	<b>14</b>
1.1. Полімерні відходи – екологічна проблема людства .....	14
1.2. Основні характеристики полімерів та їх використання .....	18
1.3. Сучасні методи переробки полімерів .....	23
1.4. Шляхи вирішення проблеми утилізації полімерів .....	29
Розділ 2 .....	34
<b>ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОДЕРЖАННЯ</b>	
<b>ТЕРМОПЛАСТИЧНОГО КРОХМАЛЮ .....</b>	<b>34</b>
2.1. Полімерні композиції з природними добавками .....	34
2.2. Полімерні композиційні матеріали на основі крохмалю .....	36
2.3. Вплив води та пластифікаторів на властивості крохмалю .....	41
2.4. Хімічна модифікація крохмалю .....	43
2.5. Способи отримання та властивості термопластичного крохмалю .....	44
2.6. Термопластичний крохмаль та суміші на його основі .....	52
Розділ 3 .....	60
<b>СВІТОВИЙ ДОСВІД ТА ВИДИ БІОПЛАСТИКУ .....</b>	<b>60</b>
3.1. Аналіз ринку біопластику .....	60
3.2. Види біодеграбельних полімерів .....	62
3.3. Переробка біодеграбельних полімерів .....	64

Розділ 4 .....	66
ПЕРСПЕКТИВИ БІОРОЗКЛАДНОГО ОДНОРАЗОВОГО ПОСУДУ .....	66
4.1. Перспективи використання біорозкладного одноразового посуду .....	66
4.2. Поради та рекомендації щодо розробки одноразового посуду на основі термопластичного крохмалю.....	71
4.3. Інтегровані методи управління відходами полімерів.....	78
Висновки.....	80
Список використаної літератури.....	84

## Вступ

Однією з найбільш актуальних екологічних проблем сьогодення є утворення та накопичення у довкіллі великої кількості відходів, зокрема і пластикових. Історія винаходу пластику бере початок з кінця XIX ст., а масове його виробництво почалося з середини XX ст.

За даними торгової асоціації Plastics Europe [1], світове виробництво пластику становило: у 1950 р. – близько 1,7 млн. т на рік; у 2010 р. – 303,1 млн. т на рік; у 2018 р. – 396 млн. т на рік.

На сьогоднішній день вироблено близько 9 млрд. т первинного пластику. Майже половина від загального обсягу продукту у світі було виготовлено за останні 15 років. У теперішній час 40 % пластика використовується одноразово [2-3].

З кінця XX ст. пластик привертає все більшу увагу як стійкій забруднювач багатьох екологічних ніш, від гірських вершин до дна Світового океану.

За оцінками станом на 2015 р. утворилось близько 6,3 млрд. т пластикових відходів, з яких близько 9 % було перероблено, 12 % спалено, а 79 % накопичено на звалищах або у довкіллі. Якщо подібні тенденції збережуться в сфері виробництва та поводження з відходами, то до 2050 р. близько 12 млрд. т пластику потрапить на сміттєзвалища або у довкілля.

**Актуальність роботи.** Сьогодні спостерігається тенденції до циркулярної економіки, в якій потребують перегляду моделі енергетики, управління ресурсами, виробництва та споживання через зростання населення розвинутих країн, надмірне використання пластику та його негативний вплив на навколишнє середовище. У контексті глобальної кризи, викликаної надмірним і необхідним сталим використанням синтетичної полімерної сировини, нам потрібно переоцінити виробництво товарів, приділяючи більше уваги харчовій упаковці, яка споживає менше енергії та регулює свій життєвий цикл, за рахунок біорозкладання [4, 5].

Виходячи з необхідності покладатися на стабільну сировину, менше залежати від викопних ресурсів і зменшити викиди вуглецю, біоматеріали та біопластики як замітники звичайних пластмас на основі нафти стали центром уваги багатьох дослідників в галузі матеріалознавства та хімічної інженерії [6]. У відповідь на екологічні проблеми, спричинені скиданням полімерів на основі нафти як відходів в океани, проводяться дослідження та розробка нових біокомпозитів [4].

Пластмасові вироби на основі біополімерів мають дві основні переваги: вони економлять викопні ресурси за допомогою відновлювальної біомаси та забезпечують терміново необхідний потенціал вуглецевої нейтральності, та біопластик – біорозкладаний [5].

Це виправдовує наукові дослідження щодо покращення властивостей цих біокомпозитів на основі крохмалю шляхом модифікації крохмалю та пошуку композицій крохмалю, використання зв'язуючи (як органічних, так і неорганічних) та умов обробки.

Проблеми переробки пластику є серйозною глобальною екологічною загрозою. Зважаючи на те, що деякі пластики (особливо термореактивні) не підлягають вторинній переробці, промисловість стикається з додатковими проблемами високого споживання енергії та труднощами, спричиненими забрудненням [6]. Більшу частину загального обсягу побутових відходів становила категорія тари та упаковки. Це логічно, адже ці вироби здебільшого одноразові. Таким чином, нові розробки в індустрії пластмас спрямовані на пошук нових відновлюваних матеріалів з властивостями, порівнянними з їхніми пластиковими аналогами [7].

Докладаються зусилля для створення та вдосконалення цього нового покоління «зеленого пластику», використовуючи відновлювані ресурси як основні матеріали. Крім того, вони можуть значно зменшити вплив на навколишнє середовище, ніж звичайні полімери, наприклад споживання енергії та парниковий ефект [8]. За даними Wang, 2017, за допомогою біополімерів на основі крохмалю можна заощадити 0,8-3,2 тонни CO<sub>2</sub> на

тонну пластику [9]. Переваги крохмалю для виробництва біополімерів включають його здатність до біологічного розкладання, здатність до відновлення, хороший кисневий бар'єр у сухому стані, широке поширення й низьку вартість. У зв'язку з цим крохмаль залишається перспективним джерелом у виробництві термопластичних біорозкладаних полімерів.

**Мета** атестаційної роботи: оцінка впливу на довкілля полімерних матеріалів та розробка технології біорозкладного матеріалу на основі термопластичного крохмалю та зменшення негативного впливу на довкілля.

**Об'єкт дослідження:** вплив полімерних матеріалів на навколишнє середовище.

**Предмет досліджень:** рекомендації по зменшенню впливу на довкілля полімерних матеріалів.

## Розділ 1

### ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ВИРОБНИЦТВА ПОЛІМЕРІВ

#### 1.1. Полімерні відходи – екологічна проблема людства

У світі полімерні відходи є частиною глобальної проблеми поводження з усіма видами сміття, насамперед, із твердими побутовими відходами (ТПВ). Згідно світових аналітичних звітів щорічно утворюється 2,01 млрд. т ТПВ [8]. Частка пластикових відходів складає близько 12 % від загального обсягу (рис. 1.1) – це невелике значення. Але особливість забруднення довкілля полімерними відходами полягає в тому, що цей матеріал є зовсім неприродним і може існувати в первинному стані велику кількість часу. За оцінкою National Geographic, середній час розкладання пластику, виробленого за різними технологіями, коливається від 450 років до нескінченності [9].



**Рис. 1.1.** Структура твердих побутових відходів у світі

Полімерне сміття, яке потрапляє на полігони ТПВ, потенційно не несе загрозу довкіллю й здоров'ю людини. Великої шкоди завдають полімери, які потрапляють до стихійних звалищ, або, які людина викидає в непередбачених для цього місцях.

Серйозною проблемою для довкілля є полімери, які потрапляють до Світового океану. Океан знаходиться нижче за течією будь-якого місця на

Землі, тому він стає приймачем всіх полімерних відходів, які утворюються на суші. Забруднення полімерними матеріалами було вперше помічено в океані у 60-70 р.р. ХХ ст. вченими, які проводили дослідження планктону. Зараз океани та пляжі привертають увагу науковців, які займаються скороченням полімерних відходів.

Встановлено, що завдяки океанським течіям плаваючий пластик накопичується у п'ятох субтропічних круговертях, які покривають 40 % площі Світового океану. До них належать субтропічні круговерті у північній і південній частині Тихого океану, субтропічні круговерті Північної і Південної Атлантики та субтропічний круговерть Індійського океану (рис. 1.2).

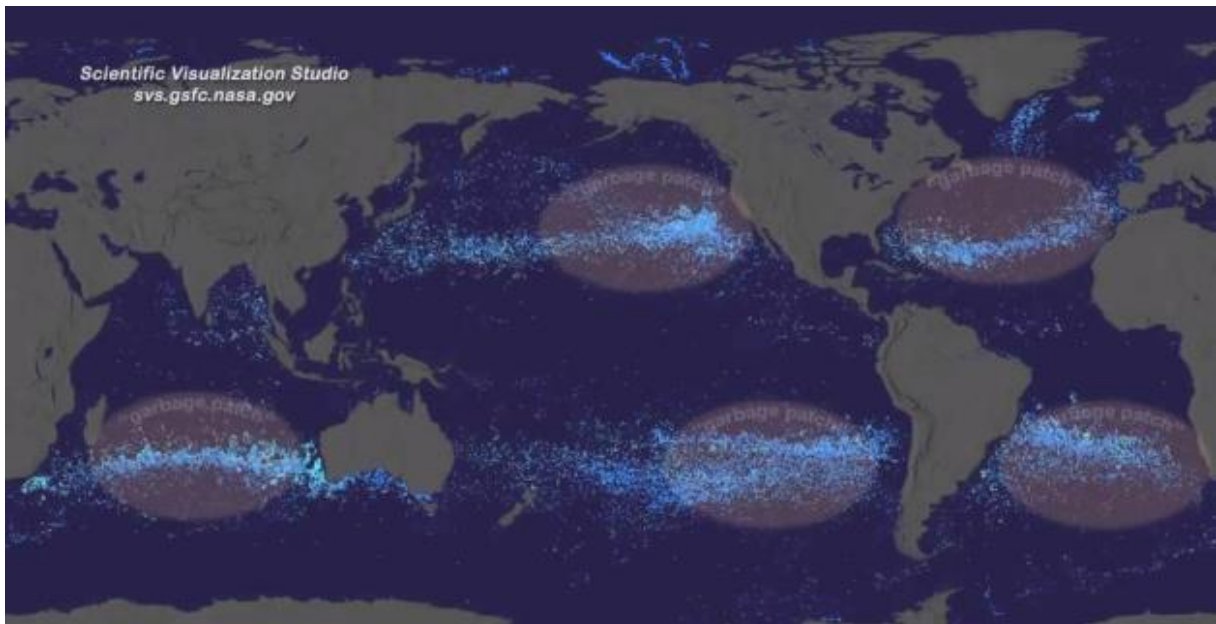


Рис. 1.2. Формування сміттевих плям. NASA

Найбільше скупчення пластику та інших відходів спостерігається у північній частині Тихого океану, що має назву «Велика тихоокеанська сміттева пляма» - відкрита у 1997 р.

Площа сміттевої плями різними дослідниками оцінюється від 700 тис. до 15 млн. км<sup>2</sup>. Більшість цього сміття – три четверті – рибальські сітки (705 тис. т), пляшки, шматки бамперів, навіть монітори комп'ютерів та LEGO. Інша частина – одна чверть – частинки мікропластику. Близько

54 % сміття надходить з суші Північної Америки та Азії, решта – з нафтових платформ, пасажирських та вантажних суден, які скидають сміття прямо у воду або втрачають його [10].

Перше глобальне дослідження кількості приповерхневого пластикового сміття у Світовому океані було проведено в 2014 р. Об'єднавши данні з усього світу про тверді відходи, густоту населення та економічний стан, група вчених підрахувала, що у 2010 р. у 192 прибережних країнах утворилося 275 млн. т пластикових відходів, а в океан потрапило 4,8-12,7 млн. т.

Велика кількість пластика потрапляє в океан не з Європи та Америки – країн з розвинутою економікою, в яких значна частина відходів переробляється або знищується, а з країн Східної Азії, що швидко розвиваються, мають велику чисельність населення та недосконалу та/або відсутню систему збору сміття. Науковцями зроблено висновок, що чисельність населення й якість систем поводження з відходами значною мірою визначають, які країни мають найбільшу кількість полімерних відходів, що потрапляють у води Світового океану [11].

У 2017 р. вчені Центру екологічних досліджень імені Гельмгольца в Німеччині виявили, що десять річок – дві в Африці та вісім в Азії – скидають 90 % світового полімерного сміття в океан. Одна тільки річка Янцзи транспортує 1,5 т відходів на рік [12].

Стан сфери поводження з твердими побутовими відходами в Україні теж критичний. За даними [13] у 2019 р. утворилося майже 53 млн. м<sup>3</sup> (або понад 10 млн. т) ТПВ. Із цієї кількості 93,9 % відходів захоронено, 4,1 % перероблено та 2 % спалено. Побутові відходи захороняються на 6000 сміттєзвалищ і полігонах загальною площею майже 9 тис. га.

На сьогодні визначити морфологічний склад ТПВ в Україні достатньо складно, оскільки наведені в джерелах дані часто різняться між собою. Це можна пояснюється тим, що різні міста країни використовують різні способи обліку сміття. У загальній структурі ТПВ полімерні вироби

можуть складати 0,6-6 % [12], а за деякою інформацією їх кількість сягає майже 25 % [13].

Із суходолу України у води Чорного моря також потрапляє значна частина побутових відходів. Науковці встановили, що кожен годину річки виносять у море від 6 до 50 елементів сміття, 83 % з яких – полімери. Серед полімерного сміття переважають [11]:

- у водах річок: пластмасові пляшки – 20 %, пластикові контейнери – 14 %, шматочки пластику – 14 %; пластикові пакети – 11 %, пластикова упаковка – 9 %;

- у морській воді: шматочки пластику – 68 %, пластикові контейнери – 9 %, пластикові пакети – 8 %, пластмасові пляшки – 3 %, пінопласт – 3 %.

Порівняльна характеристика щільності сміття, що плаває на поверхні вод Світового океану, наведена в табл. 1 [13].

**Таблиця 1.1.** Щільність сміття на поверхні вод Світового океану

Води Світового океану	Щільність сміття, кількість одиниць/км <sup>2</sup>
Малаккська протока	579
Північна частина Тихого океану	459
Чорне море	90,5
Середземномор'я	52
Північне море	38
Південний океан	6
Південно-Китайське море	5
Британська Колумбія	2

Чорне море має достатньо високий показник засміченості через обмежений водообмін із відкритим океаном та інтенсивне винесення сміття найбільшими річками України.

Вчені прогнозують, що без поліпшення системи управління відходами, сукупна кількість полімерних відходів, доступних для виходу із суші в океан, до 2025 р. зросте на порядок [13].

Trucost – підрозділ компанії Standard & Poor's, який займається аналітичними дослідженнями фінансових ринків, підрахував, що загальні соціальні та екологічні витрати від забруднення довкілля пластиком оцінюються у 139 млрд. дол. на рік. Половина цієї суми припадає на кліматичні наслідки через викиди парникових газів при виробництві та транспортуванні пластика. Інша третина пов'язана із витратами на видалення пластикових відходів і впливом супутнього забруднення повітря, води й ґрунту на здоров'я людини. Безпосередні витрати від морського сміття складають 13 млрд. дол. на рік, що має місце через його негативний вплив на рибальство, туризм і біорізноманіття [14].

Незважаючи на всі ці цифри, використання полімерних виробів стає все більш популярним. За оцінками експертів виробництво полімерів в найближчі 20 років збільшиться вдвічі.

## **1.2. Основні характеристики полімерів та їх використання**

Полімери та вироби з них відіграють важливу роль у різних галузях людської діяльності, представляючи собою важливий аспект науково-технічного прогресу. Виробництво та використання полімерів сприяють ефективному виробництву та покращують якість і зовнішній вигляд продукції. Завдяки низькій вазі полімерних виробів можна зменшити транспортні та монтажні витрати для великогабаритних конструкцій.

Фізико-хімічні та механічні властивості полімерів, разом із їх економічними перевагами, визначають їхню ключову роль у хімізації

господарства, замінюючи традиційні матеріали, такі як метали, скло, папір, картон та шкіра. Деякі види пластмас відрізняються великою термостійкістю, що дозволяє їх використовувати в широкому температурному діапазоні.

Крім високої міцності, деякі полімери також мають відмінні оптичні властивості. Зазвичай вони мають тверду та блискучу поверхню, не вимагають полірування або лакування, та зовнішній вигляд залишається стійким до атмосферних впливів.

Методи обробки пластмас, такі як пресування, лиття під тиском, формування та екструзія, надають полімерам перевагу перед іншими матеріалами. Це дозволяє уникнути надмірних відходів виробництва та сприяє атоматизації процесу виробництва.

Найбільшою перевагою полімерів перед іншими матеріалами є їхня необмежена доступність сировинної бази, що включає нафтові гази, нафту, вугілля, відходи лісотехнічної промисловості, також продукцію сільського господарства та інші ресурси. Це робить пластмаси вкрай популярними та важливими для виробництва.

Властивості полімерів	
<p>Позитивні властивості:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- мала щільність</li> <li>- високі міцнісні характеристики</li> <li>- низька теплопровідність</li> <li>- корозійна стійкість</li> <li>- мала стиранисть</li> <li>- здатність фарбуватися в різні кольори</li> <li>- можливість одержання прозорих композицій</li> <li>- технологічність</li> </ul>	<p>Негативні властивості:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- низька термостійкість</li> <li>- високий коефіцієнт термічного розширення</li> <li>- горючість із виділенням шкідливих газів</li> <li>- токсичність при виробництві і експлуатації</li> </ul>

**Рис.1.3.** Властивості полімерів

Однією з ключових переваг полімерів є їх широкі можливості отримання матеріалів з заданою комбінацією властивостей. Вони знаходять широке застосування у будівництві, машинобудуванні, електронній промисловості, виробництві меблів, тари, упаковки, предметів побутового вжитку, а також в сільському господарстві, транспорті, медицині та інших галузях.

Останнім часом значно зросла продукція нових матеріалів, таких як термопласти та фторвуглеводневі пластмаси. Термопласти представляють собою новий клас блок-сополімерів, які поєднують властивості вулканізованих каучуків і термопластів. Серед них можна виокремити бутандієн-стирольні, ізопрен-стирольні, поліолефінові та етілен-вінілацетатні сополімери. Такі термоеластоласти, аналогічно до звичайних полімерів, можуть бути перероблені за допомогою методів, таких як екструзія, каландрування, термоформування та лиття під тиском.

Полімери не лише замінюють чи доповнюють традиційні матеріали, але й сприяють створенню нових, більш продуктивних методів будівництва. Їх переваги перед традиційними матеріалами проявляються у полегшенні конструкцій, спрощенні монтажу, зменшенні транспортних витрат, розширенні можливостей застосування стандартних деталей, покращенні тепло- і звукоізоляції, і в кінцевому підсумку — скороченні термінів і здешевленні капітального будівництва.

Однією з переваг полімерів є менша енерговитратність на їх виробництво порівняно з конкуруючими матеріалами. Наприклад, для виробництва 1 кг розповсюджених видів полімерів витрачається приблизно 10 МДж енергії, у порівнянні з 20-50 МДж для заліза, 60-270 МДж для алюмінію та 30-50 МДж для скла пляшкового. Частка витрат на енергію в загальних витратах виробництва пластмас становить в середньому лише 2%, що порівняно низько, на відміну від виробництва заліза (4%), скла пляшкового (5%), цементу (15%) та первинного алюмінію

(23%). Енергоефективність виробництва полімерних виробів також значно вища, наприклад, у порівнянні із скляними пляшками.

Технологія виробництва полімерів розвивається за шляхом вдосконалення традиційних методів та впровадження нових, особливо для великотоннажних продуктів, таких як поліетилен, поліпропілен, полівінілхлорид та полістирол. Тенденцією є підвищення ступеня конверсії, використання більш ефективних ініціаторів реакції, підвищення одиничної потужності агрегатів, проведення реакцій в більш м'яких умовах та поєднання стадії полімеризації з формуванням виробів.

Існують три основні технології виготовлення виробів з полімерів і полімерної упаковки: екструзія з роздувом, лиття під тиском і інжекція з роздувом. Основними матеріалами для виробництва полімерних виробів є поліпропілен, поліетилен, полістирол та сополімери стиролу. Використовуються різні види обладнання, такі як екструзійно-видувне, лиття під тиском та інжекційне обладнання. Для подрібнення відходів виробництва полімерів використовують дробарки, а подріблене може бути використане як вторинна сировина.

Екологічні аспекти виробництва пластмас включають негативний вплив на атмосферу та охорону атмосферного повітря, а також утворення відходів на підприємствах, що виробляють полімерну упаковку.

У процесі виготовлення полімерної упаковки утворюються небезпечні речовини, які викидаються в атмосферу. Серед них є такі небезпечні сполуки, як діоксид вуглецю (4 клас безпеки), оцтова кислота (3 клас безпеки), ацетальдегід (3 клас безпеки), формальдегід (2 клас безпеки) і вінілбензол (2 клас безпеки).

Діоксид вуглецю представляє особливу небезпеку, оскільки його збільшення в атмосферному повітрі призводить до парникового ефекту, що є глобальною екологічною проблемою. Оцтова кислота, ацетальдегід і формальдегід є вибухонебезпечними речовинами та можуть викликати різні негативні впливи на здоров'я людини. Оцтова кислота може

взаємодіяти з окислювачами і підставами, що призводить до утворення горючого газу водню та агресивної дії на метали, певні види полімерів, гуми та інші матеріали.

Вінілбензол є отрутою загальнотоксичної дії, має дратівливий, мутагенний та канцерогенний ефекти, і може викликати неприємний запах. Його вплив на організм людини є небезпечним.

Основними побічними продуктами, які утворюються в процесі виробництва виробів з полімерів – полістирол, сополімери стиролу, залишки і суміші полімерних матеріалів, відходи поліетилену високого тиску (злитки, обрізки, брак), поліетилен низького тиску, відходи поліпропілену, поліетилентерефталат (лавсан) у вигляді плівки, ПЕТ-пляшки, інші затверділі відходи пластмас (PETg), а також інші виробничі відходи (відпрацьовані акумулятори та ртутні лампи, тирса промаслені, пил циклонів, синтетичні і мінеральні відпрацьовані масла, обтиральний матеріал, дерев'яна тара, абразивний пил, відходи паперу і картону, упаковка, різні металеві стружки, лом, відходи життєдіяльності підприємства, зношена спецодяг, кошториси від прибирання територій).

Основні відходи можуть перероблятися за допомогою дроблення і грануляції, після чого використовуються в технологічному процесі як вторинна сировина. Інші виробничі відходи збираються на спеціально виділених місцях для тимчасового зберігання, а потім, якщо це необхідно, вивозяться на полігон для захоронення твердих відходів або їх знешкодження з використанням транспорту підприємства чи спеціалізованої організації відповідно до укладеного договору.

З метою зменшення негативного впливу виробництва полімерної упаковки на навколишнє середовище можуть бути прийняті ряд організаційних і технічних заходів. До них включають: санітарна очистка стиролсодержащих газів за допомогою каталітичного окислення викидів, адсорбційного виділення стиролу з забрудненого повітря та використання пиловловлювачів; знешкодження газових викидів, що містять фенол,

формальдегід і метанол, за допомогою методів абсорбції і адсорбції, хемосорбції, блокового методу, знефенолювання викидів через окислення відпрацьованих газів; використання рукавних і волокнистих фільтрів, а також інших моделей фільтрів для утворення пилу; зменшення класу небезпеки утворених відходів за допомогою сорбентів та сортування; використання відходів як вторинної сировини.

### **1.3. Сучасні методи переробки полімерів**

Одним із головних завдань уряду будь-якої країни є збереження природних ресурсів та захист навколишнього середовища. Саме тому, питання розробки політики екологічно обґрунтованого поводження з відходами залишається актуальним. Сюди можна віднести зведення до мінімуму кількості відходів, які видаляються на звалища, шляхом використання методу механічної рециркуляції. Даний метод можна використовувати для рециркуляції пластмасу у вихідну речову.

У країнах з розвиненою промисловістю широкого використання набули дві технології рекуперації пластмасових відходів:

- спалювання відходів;
- механічна рециркуляція пластикових відходів.

Незважаючи на існування таких технологій, головним методом видалення полімерних відходів, є їх вивезення на звалища. У Європейському Союзі впроваджено такий розподіл груп полімерних відходів за напрямками їх утилізації:

- механічна рециркуляція – 6,0 %;
- вивезення відходів за межі Європи – 1,2 %;
- видалення на звалища – 76,0 %;
- рекуперація енергії – 13,4 %;
- спалювання без рекуперації енергії – 3,1 %;
- хімічна рециркуляція – 0,3 %.

До сучасних способів утилізації відходів полімерів відносяться каталітичний і термічний піроліз при температурі 500-1000 °С в безкисневому середовищі або в середовищі з нестачею кисню. Цей спосіб дозволяє одержувати вуглеводні та безсіркові види палива. В результаті термічної дії молекули полімерів розпадаються з утворенням низькомолекулярних продуктів, характеристики і практичний вихід яких залежать від умов проведення процесу, хімічного складу та природи вихідних компонентів [14-17].

Існують різні способи проведення піролізу:

- піроліз в обертових печах або на рухомому конвеєрі;
- піроліз нерухомого шару періодично завантажуваних відходів;
- піроліз в псевдозрідженому шарі високодисперсного теплоносія та інші.

В більшості випадків рідкі продукти піролізу можна використовувати як паливо, оскільки вони мають малу в'язкість і високу теплоту спалення. Оптимальним є застосування рідких продуктів піролізу у вигляді добавок до твердого та/або рідкого палива. Вони можуть також працювати додатковим джерелом хімічної сировини для виробництва ароматичних вуглеводів і етилену, соляної кислоти. В окремих випадках тверді продукти піролізу застосовуються самостійно.

Необхідною частиною будь-якого виробничого процесу є повторне використання відходів полімерних матеріалів. З цією метою полімерні відходи переробляють в готові вироби, або вторинний гранульований матеріал. Також можна регенерувати вихідні продукти синтезу полімерів і повертати їх у вигляді вторинний сировини в виробництво, а також одержувати композиційні матеріали. Вторинну сировину додають до первинної сировини у кількості 5-10 %.

Вторинні полімерні маси можуть протипоставити гідну конкуренцію деяким первинним полімерам. Їх також можна використовувати в інших галузях промисловості на рівні з первинними виробами.

Як приклади можна привести ПВХ, який використовується для виготовлення електроізоляції, та регенеровані термопластичні поліестери, які використовують для одержання литтєвих композицій, які володіють такими ж самими властивостями, як поліаміди та полікарбонати.

Методом екструзії (з попереднім подрібненням) можна переробляти волокнисті, плівкові полімерні відходи поліамідів і деяких інших термопластів у виробі побутового та технічного призначення.

При повторній переробці змінюються фізико-механічні та реологічні характеристики й структура більшості полімерів. Тому необхідною умовою правильного вибору технологічного режиму переробки є дослідження впливу кратності переробки на властивості полімерних матеріалів. Повторна переробка полімерних матеріалів потребує додаткового введення стабілізаторів, які уповільнюють або перешкоджають деструкції.

Найбільших успіхів у вторинній переробці досягнуто при переробці великотоннажних виробів з каучуку, наприклад автомобільних шин. Їх виготовляють з вулканізованих каучуків, наповнених сажею, вміст якої може сягати до 40 % за масою. Після закінчення строку експлуатації, такі шини не викидаються, а піддаються подрібненню. Дроблення за допомогою низьковартісного обладнання дозволяє отримати крупні частинки, розміри яких сягають одного міліметра і більше. Ці крупні частинки додають в матеріали для покриття доріг, що значно покращує їх механічні характеристики і довговічність. Спеціальні машини дозволяють отримувати тонкі дисперсні частинка – 0,01 мм. Ці частинки додають в каучуки при виготовленні нових шин, що надає значну економію сировини. При цьому якість отриманих шин майже не поступається вихідним. Це дозволяє одночасно помітно знизити шкоду для навколишнього середовища та економічно витратити каучуки, які отримують шляхом полімеризації переробки нафти, або з латексного соку дерев гевеї.

Найбільш перспективним методом переробки поліуретану є метод його регенерації. Спалювання відходів поліуретану є нерентабельним, а піроліз супроводжується виділенням отруйних газів. З урахуванням структурних й фізико-механічних характеристик відзначається можливість утилізації поліуретану. Вторинне застосування лінійних поліуретанів з високою температурою плавлення засноване на використанні хімічної деструкції або сильно полярних розчинників.

На основі відходів виробництва полістиренових пластиків можна отримувати композиційні матеріали, які широко застосовуються в цивільному і дорожньому будівництвах.

З урахуванням усіх вимог та критеріїв сучасного стану екологічних вимог підприємство має розвиватись за такими напрямками:

- виготовлення, установка та експлуатація природоохоронних споруд об'єктів;
- розробка та впровадження екологічно чистих технологій;
- виробництво екологічно чистих продуктів;
- торгівля екологічними технологіями, продуктами й відходами;
- переробка, транспортування та утилізація відходів
- водний, повітряний контроль, екологічний аудит та експертиза;
- енергозбереження, збереження земельних ресурсів;
- екологічний туризм, екологічна медицина та професійна безпека;
- напрями розвитку екологічного підприємства.

Всі існуючі методи переробки зображені на рис 1.4 мають свої переваги та недоліки.

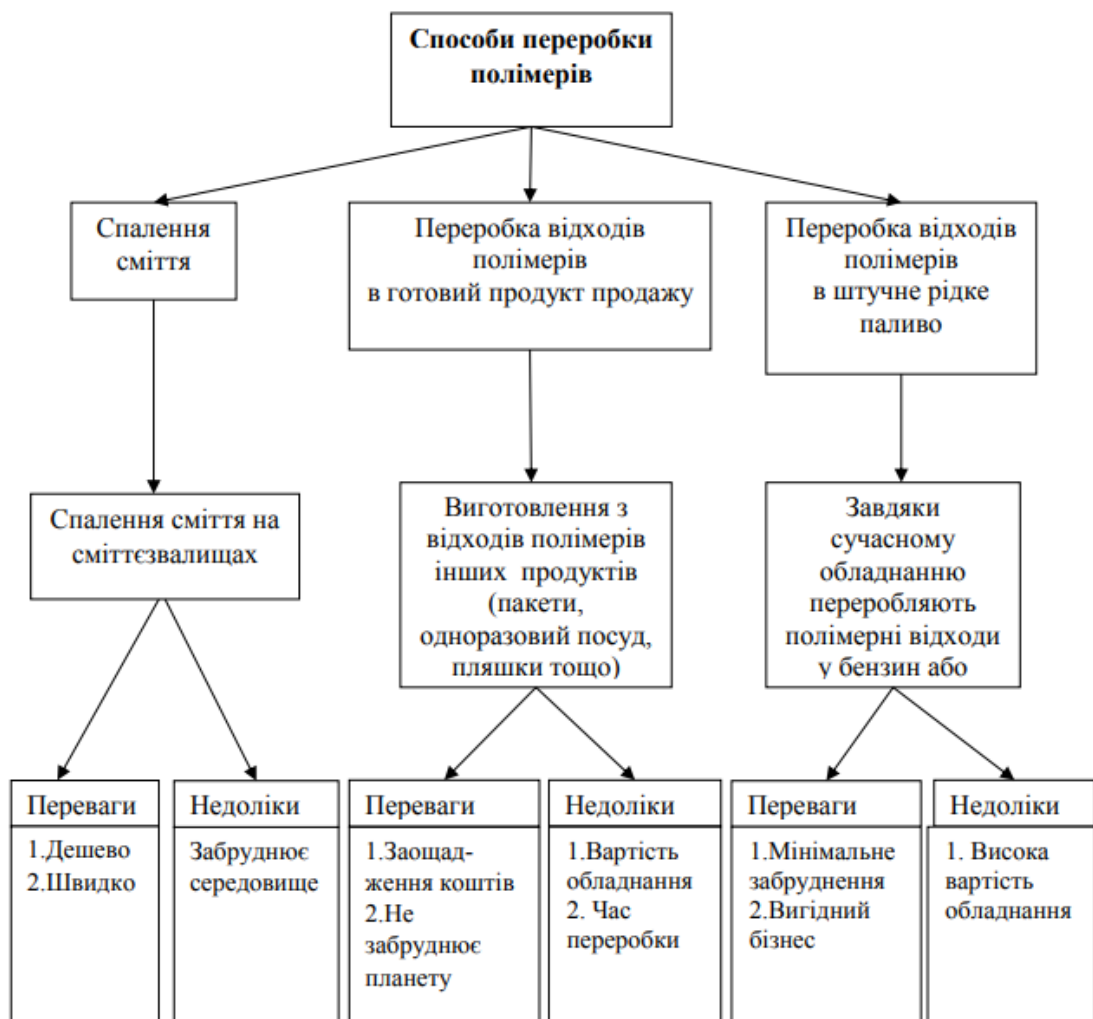


Рис. 1.4. Способи переробки полімерів

Для забезпечення спалювання відходів полімерів з мінімальним забрудненням повітря розроблені методи попередньої обробки відходів та спеціальні системи газоочищення, створені установки різних типів – ротаційні та подові печі, печі для спалювання в псевдо зрідженому стані.

Висока вартість обладнання відходами, але в Японії функціонують спеціальні інсценізатори матеріалів. Попіл, що утворюється під час спалювання, використовують як добавку при виробництві дорожнього покриття та будівельних матеріалів,

Полімерні матеріали характеризуються високою теплотворною здатністю (у два-три рази вищою, ніж у текстилю і паперу). Тому теплову

енергію відходів, які спалюються, можна ефективно використовувати для одержання гарячої води, пару високого тиску та додаткового палива.

Перспективним напрямком утилізації полімерних відходів є їх переробка в штучне рідке паливо. Завдяки сучасним технологіям можливо навіть одержувати дизельне паливо та високоякісний бензин.

Така переробка є найбільш вигідною як в енергетичному плані, так і в плані охорони навколишнього середовища від забруднення полімерними відходами.

В останні роки виникли та почали практично реалізовуватись нові ідеї синтезу «екологічно чистих полімерів» і виробів з них. Мова йде про полімери і матеріали з них, які здатні більш менш швидко розкладатись в природних умовах. Всі біологічні полімери, тобто полімери, які синтезуються рослинами та тваринними організмами, здатні розкладись під впливом ферментів. Зовсім інша справа це синтетичні полімери, оскільки у природи немає ефективних механізмів їх розкладу. Але можна розраховувати, що деякі ферменти, які відповідають за швидкий розклад природних органічних речовин, будуть робити те саме і по відношенню до синтетичним полімерів, до складу яких входять тіж самі характеристичні групи. Але, звісно ефективність дії природних каталізаторів буде значно знижена. Якщо ці полімери закопати в землю на чотири тижні, а потім відкопати та зважити, їх сама в середньому зменшиться на 20 %. Це характерно для гідролізу, який відбувається за участю ферментів, і в якості продуктів утворюються низькомолекулярні сполуки, які розчиняються у воді. Цей процесі відбувається на поверхні твердого зразку, оскільки ферменти будучи білками, не здатні проникати в об'єм зразку поліестеру, який виготовляють у формі плівки. Джерелами таких ферментів є гриби, які мешкають в ґрунті.

Одночасно з цим у об'єм зразку протікає і хімічний гідроліз, тобто руйнування складноєфірних зв'язків молекулами води, які здатні проникати в середину зразка. Цей процес супроводжується розривом

зв'язків в будь-якому місці молекули полімеру з однаковою вірогідністю. В результаті протікання хімічних реакцій, утворюються більш короткі ланцюги, і відбувається зменшення молекулярної маси полімеру і погіршення його механічних властивостей [20].

Отже, існує багато шляхів переробки полімерних матеріалів і використаної тари, найбільш раціональними та безпечними з яких є вторинна переробка, регенерація та піроліз. Найбільш перспективним методом переробки поліуретану є метод його регенерації. Спалювання відходів поліуретану є нерентабельним, а піроліз супроводжується виділенням отруйних газів. Необхідною частиною будь-якого виробничого процесу є повторне використання відходів полімерних матеріалів. Вторинні пластичні маси можуть зіставити гідну конкуренцію деяким первинним полімерам. Найбільших успіхів у вторинній переробці досягнуто при переробці великотоннажних виробів з каучуку, наприклад автомобільних шин [21].

#### **1.4. Шляхи вирішення проблеми утилізації полімерів**

Збільшення кількості населення та індустріальний прогрес одночасно з матеріальними благами, намаганням максимально покращити умови життя та не вірне використання полімерної сировини та виробів є причиною забруднення оточуючого середовища та знищення природних комплексів.

На сьогоднішній день відбувається інтенсивна заміна металу, скла, деревини, тканини з бавовни на синтетичні полімерні матеріали, які є не типовими до живої природи і не мають натуральних «могилищиків».

Сучасні пакувальні матеріали створили гостру проблем ліквідації безповоротних відходів синтетичних пакувальних матеріалів, тому що прекрасний дизайн такого упакування, її міцність, водостійкість спричиняється її незамінність і в той же час труднощі утилізації після

застосування. У результаті відбувається нагромадження полімерних упакувань у навколишнім середовищі, що ще більше погіршує екологічну обстановку. На сьогоднішній день ми маємо тонни не утилізованого "полімерного сміття". Свого роду ця «бомба» вповільненої дії, тому як полімер міцний, еластичний, стійкий до багатьох хімічних реагентів і радіоактивного випромінювання матеріал. Парниковий ефект, що задихається ґрунт це перші ознаки катастрофи, що загрожує.

Утилізація полімерних відходів є для людства не менш складним та дорогим процесом, ніж виробництво виробів з полімерів, і, майже усюди, людство йде найлегшим шляхом – складання відходів разом з іншим сміттям на величезних звалищах.

Поліолефіни, полістирол, поліетилентерефталат та інші полімери можуть сотні років знаходитися на смітниках і не розкладатися, не «зникати», а випуск їх складає мільйони тон та продовжує рости з кожним роком. Щорічно на міських смітниках накопичується велика кількість твердих побутових відходів, половину з яких складають матеріали синтетичного походження, такі як вироби короткострокового або ж одноразового застосування (це пакувальні побутові та сільськогосподарські плівки, вироби медичного призначення, гігієнічні та косметичні товари). Існуюча державна політика у сфері використання твердих побутових відходів не достатня для вирішення проблеми, що виникли на сьогоднішній день. Ця причина призводить до катастрофічного росту такого типу сміття на території України. У нашій державі нараховується від 20 до 30 млрд. т відходів, що в середньому складає 50 тисяч на 1 км<sup>2</sup> території України. Серед цих відходів саме тверді побутові відходи складають 60 млн. т., і щорічно збільшуються на 11 млн. т., у тому числі 2,5 млн. т. відходів упаковки. На 1000 доларів внутрішнього валового продукту у розвинутих країнах Європейського союзу щорічно 32 кг відходів, у Польщі 124 кг, Угорщині -324 кг, у той час коли в Україні - 15 тис.кг. Якщо людство не буде приймати активні дії щодо знезараженню

побутових відходів, то життя на Землі стане у найближчий час неможливим для її населення. У США щорічно вибрасується більше 24 млн. т. пластикових мішків та упаковок, які не здатні розкладатися.

Полімерні відходи підвергають захороненню у землю або ж утилізації, яка здійснюється по одному з трьох напрямів: піроліз, рециклінг, спалення. Утилізація відходів шляхом захоронення їх на полігонах не є зручним вирішенням ситуації що склалася, так як полімерні відходи, що попадають на смітники, заражують землю, повітря та воду, шкодять пейзажу, вимагають певних фінансів на складування. Це тимчасове засоби, що призводить до відчуждження великої кількості родючих земельних ділянок на багато десятиліть.

Найбільш часто використовані засоби утилізації такі як піроліз та спалення не покращують екологічний стан через велику кількість шкідливих газів та аерозолів, що не є ефективними по відношенню до екології, а також значних енергетичних та матеріальних витрат.

Здавалось би рециклінг полімерних відходів – найбільш доступний спосіб утилізації сміття, проте і цей метод має ряд суттєвих недоліків. По-перше, здійснення методу ускладнено необхідністю збору і сортируванням сміття з різних видів пластмас і це, як правило, ручна праця. По-друге, у кінцевому рахунку отриманий вторинний матеріал володіє гіршими властивостями, ніж первинний, а його собівартість являється вищою [20].

Проблеми, які пов'язані з утилізацією полімерного сміття, стимулювали науковців задуматися над створенням матеріалів, які б могли розкладатися на не шкідливі для живої природи речовини (такі як вода, діоксид вуглецю, біомасу та інші природні з'єднання) під впливом оточуючого середовища (світло, вологість, мікроорганізми та ін.). Сучасна техніка вимагає створення полімерних матеріалів, властивості яких не змінюються при експлуатації протягом тривалого часу. Дія навколишнього середовища (води, кисню повітря, сонячного світла і біологічних агентів – мікробів, грибів, комах і ін.) скорочує термін служби багатьох виробів із

полімерних матеріалів. В зв'язку з цим виникає необхідність створення та використання спеціальних стабілізаторів і біопротективів. Разом з тим велика кількість полімерних матеріалів і виробів з них, які застосовуються в даний час для різних цілей призводить до необхідності їх знищення та захоронення після закінчення терміну служби. Велика кількість полімерів в навколишньому середовищі розкладається протягом тривалого часу, тому оптимальним вирішенням даної проблеми є створення та освоєння широкого кругу полімерів й композицій з регульованим терміном служби. Особливістю цих матеріалів є їх здатність зберігати споживчі властивості протягом необхідного періоду експлуатації, після чого швидко руйнуються в природніх умовах до низькомолекулярних сполук, які беруть участь в природному кругообігу речовин. Такі полімерні матеріали називають тими, які можуть біологічно розкладатися. “Біопластики” після закінчення терміну служби руйнуються під дією мікроорганізмів, високих температур і ультрафіолетової, гамма-, і електронної радіації. Саме створення полімерних матеріалів, що біологічно розкладаються в даний час є пріоритетним напрямком науково – дослідних і практичних розробок, реалізація яких дозволяє звести до мінімуму забруднення навколишнього середовища полімерними відходами [23].

Ефективність використання біополімерів за останні роки збільшилась, не дивлячись на вартість. На початку сторіччя науковці все ж таки знайшли можливість знизити затрати на виробництво біопластиків, і термін «biodegradable polymer» в ряді країн невід'ємною частиною процесу виробництва упаковки [24].

За даними дослідницьких робіт за класифікацією полімерів, що біологічно розкладаються відокремлюють три основних напрямки розвитку прикладних праць в цій області (як синтетичним засобом, так і мікробіологічним); створення пластичних мас на основі природних полімерів, які відновлюються (таких як крахмал, целюлоза, хітозан)

(рис.1.5); надання біодеградабельної властивості високомолекулярним матеріалам [25].



Рис. 1.5. Полімер з природних волокон, що використовується в якості основи для нових промислових пластиків

Не дивлячись на те, що в області створення біополімерів активно розвиваються перші два напрямки, важливе місце в дослідництві займає проблема придання здатності біологічно розкладатися багатотоннажним промисловим полімерам: поліетилену, поліпропілену, полівінілхлориду, полістиролу та поліетилентерефталату, так як перелічені полімери та вироби з них можуть зберігатися «вічно», то питання придання їм здатності біологічно розкладатися стоїть на сьогоднішній день особливо гостро.

Створення полієфірів з гідроксокарбонівих кислот, а також композицій з сировини, що природно відновлюється являє собою важливим напрямком в області створення біополімерів. Але все ж таки більш актуальним на сьогоднішній день є надання здатності біологічного розкладу шляхом створення композицій з добре відомих багатотоннажних промислових полімерів зі спеціальними біодобавками, що ініціюють розклад основного полімеру [26].

## Розділ 2

### ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОДЕРЖАННЯ ТЕРМОПЛАСТИЧНОГО КРОХМАЛЮ

#### 2.1. Полімерні композиції з природними добавками

В таро-пакувальній галузі найчастіше, для виготовлення виробів, що здатні до біорозкладу, використовують полімерні композиції на основі крохмалю, целюлози або їх похідних.

Целюлозу та її похідні, як сировину для виробництва штучних полімерних матеріалів і хімічних волокон, почали застосовувати ще в ХІХ ст. і, по суті, вона є першим полімерним матеріалом, що біологічно розкладається в умовах зовнішнього середовища. Полімери на основі целюлози та її похідних (ацетатів і діацетатів) широко використовуються в якості упаковки харчових продуктів. Оскільки сировиною для виробництва целюлози є деревина, запаси якої хоч і поновлювані, однак вимагає значного часу для відтворення в порівнянні з крохмалем. Так само, велика увага приділяється проблемі використання хітину і хітозану, що виділяються з панцирів крабів та інших ракоподібних, як основу для матеріалів, що біологічно розкладаються. Суміші на їх основі можуть бути використані для виробництва пакувальних плівок, текстильних волокон і багатьох інших цілей, але найбільшого застосування такі матеріали отримали у медичній галузі [27-30].

У роботі [31] проаналізовано вплив на властивості полімерних композицій на основі крохмалю. Описано основні стадії технології отримання таких матеріалів, які можуть бути використані для створення нових екологічно безпечних біорозкладних матеріалів для виробництва плівок, упаковки і різноманітних виробів короткочасного використання.

З матеріалів, на основі крохмалю, найчастіше отримують пакувальні матеріали, обгортки, сипучий пакувальний амортизатор, контейнери для

їжі, пакувальну плівку, ламінований папір та інш., а також плівки сільськогосподарського призначення [29].

Крохмаль є універсальним і корисним полімером не тільки тому, що має низьку вартість і отриманий з природних ресурсів, але й тому, що його фізико-хімічні властивості можуть бути змінені за допомогою хімічних або ферментативних модифікацій [32].

Незважаючи на те, що в галузі створення полімерів, що біологічно розкладаються активно розвиваються напрямки по одержанню полієфірів на основі гідроксикарбонових кислот, а також композиційних матеріалів з використанням природних полімерів, важливе місце в дослідженнях займає проблема додання властивостей біологічного розкладу добре освоєним багатотоннажним промисловим полімерам: ПЕ, ПП, ПВХ, ПС та ПЕТФ. Зазначені полімери й вироби з них надзвичайно стійкі до розкладання в умовах довкілля, тому це питання стоїть особливо гостро. У цей час активно розробляються три напрямки:

- 1) введення в структуру полімерів, що біологічно розкладаються, молекул, які містять у своєму складі функціональні групи, що сприяють прискореному фоторозкладанню полімеру;

- 2) одержання композицій багатотоннажних полімерів з природними добавками, здатними деякою мірою ініціювати розпад основного полімеру;

- 3) спрямований синтез пластичних мас, що біологічно розкладаються на основі промислових синтетичних продуктів.

Очікуваним і очевидним прийомом додання біологічного розкладу широко застосовуваним синтетичним полімерам, на перший погляд, представляється процес компаундування їх із відомими біодеградабельними компонентами [28].

У ролі привабливої для мікроорганізмів складової у композиціях, що складаються із промислових полімерів, широко застосовуваних у побуті, особливо для тари й упакування, як правило, використовується крохмаль, полієфіри й інші добавки, що біологічно розкладаються. Однак,

незважаючи на те, що такі композиції умовно відносять до біодеградабельних, все ж таки вони не є такими, тому що в процесі компостування спостерігається швидке розкладання крохмалю, а синтетичний полімер у більшості випадків не піддається біологічному розкладу.

## **2.2. Полімерні композиційні матеріали на основі крохмалю**

В останні роки зріс інтерес до крохмалю як до одного з найбільш дешевих видів сировини для організації промислового виробництва біопластиків. Так як крохмаль являється типовим гідрофільним полімером, він може містити до 30-40 % зв'язаної вологи. Ця властивість дозволяє використовувати воду як один з найбільш доступних пластифікаторів крохмалю. Такого роду пластифікація проводиться за одночасної дії температури та механічної напруги. У результаті відбуваються значні зміни фізичних і механічних властивостей крохмалю. Зазвичай їх використовують з водою. З крохмалю, пластифікованого водою або іншими гідроксилвмісними речовинами, методами компресійного пресування і екструзії формують термопластичні матеріали одноразового або нетривалого застосування [32].

У Китаї розроблений біопластик, де в якості полімерної матриці використовується полігідроксибутират. У термопласти вводять 40 % мікронізованого (зшитого) крохмалю, який має підвищену водостійкість. Такі модифіковані термопласти розкладаються в ґрунті на 50 % за 120 днів [33].

У 2000 році було досліджено додавання ліпідів для підвищення бар'єрних властивостей їстівних плівок і покриттів на основі крохмалю, а саме вплив компонентів (присутність ліпідів, пластифікаторів) на мікроструктуру, паро- і газопроникність плівок і покриттів. Пластифікатор необхідний для збереження цілісності плівок і покриттів і зниження їх

пористості. Плівки із високоамілозного крохмалю мають нижчу проникність для парів води і газу, а введення сорбіту в якості пластифікатора (20 г/л) забезпечує нижчу проникність у порівнянні з добавкою гліцерину. Додавання 2 г/л соняшникової олії знижує паропроникність крохмальних плівок. Рентгеноскопія і калориметричні дослідження показали, що плівки з додаванням пластифікатора і ліпідів мають менше співвідношення кристалічної/аморфної фаз у порівнянні з плівками без цих добавок. Дослідження також показали, що зміни мікроструктури позначились на властивостях плівок в процесі зберігання [34].

Фірма Stalenco розробила новий екологічно чистий матеріал для пакування, який здатний біорозкладатися. Зроблений із унікальної суміші крохмалю, новий біоматеріал може використовуватися для видувних конвертів. Такі конверти повністю і досить швидко розкладаються в землі, пропускаючи воду. У порівнянні з традиційними пористими матеріалами (ПЕНТ та ПЕВТ, ПП) новий матеріал від Stalenco має кращі бар'єрні властивості та затримує повітря набагато довше, що дозволяє збільшити строки зберігання продуктів [35].

Розроблено біодеградабельний матеріал БЮДЕМ на основі природних полісахаридів – пластифікованих сумішей ефірів целюлози та крохмалю. БЮДЕМ має приємний зовнішній вигляд, механічну міцність, стійкість до гарячих напоїв, гігієнічну доброякісність і може перероблятися у виробі методами екструзії, лиття під тиском, пресування. БЮДЕМ може використовуватися для створення одноразового посуду різного призначення, упаковки продуктів харчування і для господарських цілей [36].

Досліджено їстівні плівки з картопляного крохмалю, які здатні миттєво розчинятися в гарячій воді. В якості компонента, який прискорює утворення поперечних зв'язків, використовують епігідрин, а для інтенсифікації процесу формування плівки – КМЦ. Плівка дуже міцна і

має високі показники розтяжності. Також була проведена оптимізація плівки на основі крохмалю та метилцелюлози із застосуванням пластифікатора (гліцерину). Оптимізацію проводили за розчинністю, проникністю для водяної пари та механічних властивостях плівки. Встановлено, що оптимальним є співвідношення метилцелюлози і крохмалю 31:69 (за масою) при вмісті пластифікатора 20 % мас. [37].

Суттєвим недоліком крохмаленаповнених матеріалів є їх нестійкість до дії води. Тому велика кількість досліджень останніх років присвячена сумішам крохмалю з іншими природними полімерами – пектинами, целюлозою та ін., або продуктами їх хімічної модифікації [38].

Все більшу увагу привертає водорозчинна пластикова пакувальна плівка, яка є одним з видів нових екологічно чистих пакувальних матеріалів. Головний її інгредієнт – ПВС, який слабо піддається алкоголізу. Така плівка успішно конкурує з іншими видами пакувальних плівок завдяки високій прозорості, еластичності, малому накопиченню статичного заряду. Водорозчинність, поряд з високою стійкістю до дії масел, жирів і більшості органічних розчинників, а також низькою киснепроникністю дозволяє використовувати цю плівку для упаковки отрутохімікатів, товарів побутової хімії, зараженого або забрудненого одягу в лікарнях, хірургічних інструментів і т. д.

Упаковки, що руйнуються у воді, роблять з водорозчинних полімерів на основі ПВС, а також сополімерів на основі ПВС і вінілацетату (Vinex).

Плівка ПВС, нагріта до 70 °С з 33 %-им водним розчином їдкою натрію, стає стійкою до води до температури 50 °С, але ще розчинна у киплячій воді.

Термічна обробка плівки ПВС, що попередньо знаходилася у розчинах з різним рН при 30 °С протягом години, призводить до зменшення розчинності плівки, причому розчинність зменшується зі збільшенням тривалості теплової обробки.

Крім термічної обробки, в результаті якої відбувається дегідратація ПВС і формування ефірних зв'язків між ланцюгами, рекомендуються три основні методи обробки для набуття нерозчинності ПВС.

По-перше, часткове перетворення ПВС в нерозчинну сполуку, наприклад полівінілформаль, шляхом обробки формальдегідом. Досить сильна обробка шкодить якості продукту, але за певних умов водо нерозчинності можна досягти при мінімальних шкідливих наслідках.

По-друге, можна отримати нерозчинні комплекси ПВС з деякими неорганічними сполуками, включаючи борну кислоту і буру, деякі сполуки хрому, наприклад хромати і дихромати і мідно-аміачні розчини. Ці комплексні продукти не є стійкими сполуками, але утворюються шляхом випадково утворених поперечних зв'язків між лінійними ланцюгами полімерів.

По-третє, утворюються поперечно зв'язані похідні, що досягається за допомогою відповідних органічних зв'язуючих агентів, що запропоновані у великій кількості [37].

Для отримання біодеградабельних композицій змішували крохмаль, ПВС, відходи переробки соєвих бобів і гліцерин в якості пластифікатора. Було досліджено вплив кількості ПВС та відходів переробки соєвих бобів на механічні властивості готового матеріалу. Міцність на розрив зменшується при збільшенні вмісту соєвих продуктів. У випадку з ПВС цей показник спочатку зменшувався, а потім збільшувався. Досліджено також вплив паперового порошку і  $\text{CaCO}_3$  на механічні властивості приготованого на основі крохмалю матеріалу. Обидві ці добавки в деякій мірі збільшували міцність продукту, але помітно знижували його розтяжність. Оптимальні механічні властивості має матеріал, приготований із (вагових частин): 60 крохмалю, 10 соєвих продуктів, 6 полівінілового спирту, 10 гліцерину і 2  $\text{CaCO}_3$  [38].

Сучасна техніка вимагає створення полімерних матеріалів, властивості яких не змінюються при експлуатації впродовж тривалого

часу. Дія довкілля (води, кисню повітря, сонячного світла і біологічних агентів - мікробів, грибів, комах та ін.) скорочує термін служби багатьох виробів з полімерних матеріалів. У зв'язку з цим виникає необхідність створення і використання спеціальних стабілізаторів і біопротекторів [39]. В той же час величезна кількість полімерних виробів у промисловості й побуті, призводить до необхідності їх знищення чи захоронення після закінчення терміну використання.

Вживані в побуті полімери, пластмаси та плівкові матеріали після їх використання повинні досить швидко деградувати під впливом довкілля [40,41]: хімічних (кисень повітря, вода), фізичних (сонячне світло, тепло) і біологічних (бактерії, гриби, дріжджі, комахи) чинників. Ці чинники діють синергічно і зрештою призводять до фрагментації полімеру за рахунок декструкції макромолекул і перетворення їх в низькомолекулярні сполуки, здатні брати участь в природному кругообігу речовин в природі.

Ферменти грають роль каталізаторів, що полегшують розпад головного ланцюга полімеру [42-46].

Пластифіковані гліцерином плівки сумішей пектин – крохмаль характеризуються незначною зміною міцності на розрив при збільшенні вмісту пластифікатора аж до 45 % мас. Подальший ріст концентрації гліцерину (до 75 % мас.) призводить до різкого падіння міцності і десятиразового зростання подовження при розриві. На положення піків механічних втрат впливає кількість введеного пластифікатора – гліцерину: температура переходів знижується з ростом його концентрації. Екструзією сумішей кукурудзяного крохмалю з мікрокристалічною целюлозою і метилцелюлозою (МЦ) з добавками пластифікаторів (поліолів) або без них отримані їстівні плівки [47]. Збільшення вмісту целюлозного компоненту збільшує розривну міцність, зменшує подовження при розриві, знижує проникність плівок до парів води. При збільшенні вмісту крохмалю від 10 до 80 % мас. ефективна в'язкість суміші зменшується, індекс текучості розплаву зростає від 2 до 70 г впродовж 10 хв.

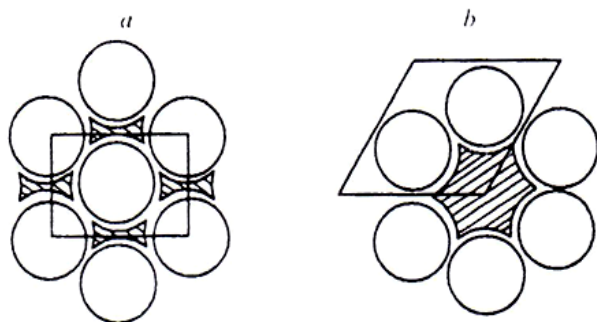
Водорозчинний крохмаль утворює з МЦ і КМЦ суміші, які термодинамічно сумісні при вмісті крохмалю менше 25 % мас.; при підвищенні вмісту крохмалю системи мікрогетерогенні. Швидкість біорозкладу плівок мікроорганізмами у водно – ґрунтовій суспензії, визначена по виділенню вуглекислого газу, залежить від міри набрякання і розчинності компонентів полімерної суміші у воді, що полегшує процес біорозкладу. Швидкість біорозкладу сумішей МЦ і КМЦ з крохмалем у водному середовищі не залежить від фазового стану системи і зростає із збільшенням вмісту крохмалю.

### **2.3. Вплив води та пластифікаторів на властивості крохмалю**

Крохмаль - типовий гідрофільний полімер; він може містити до 30 – 40 % мас. зв'язаної води. Відомо [48], що структури крохмалю А- і В-типів по-різному зв'язуються з водою. Вода в комплексі В-типа рухлива і легко входить і виходить з нього (рис. 2.1).

Вода гідрату в кристаліті А-типу, що утворює шарувату структуру, міцно пов'язана з подвійними спіралями амілози, що оточують її. Тому А-структура менш чутлива до вологості довкілля, ніж структура В - типу.

Дослідження дії води на крохмаль дозволяє отримати додаткову інформацію про структуру цього полімеру. Розчинення цього крохмалю у воді є складним процесом, на який впливає, в першу чергу температура. У насичених парах води при кімнатній температурі набрякання крохмалю призводить до утворення гелю, в якому зберігаються переважні контакти полімер - полімер [49].



**Рис. 2.1.** Схеми комплексів кристалічних структур амілози з водою. Комплекс А – амілози (а), В – амілози (b). Заштриховані області – абсорбована вода

Повного розчинення крохмалю при цьому не відбувається, про що свідчить вид ізотерми сорбції пари води [50], характерний для систем з обмеженим набряканням полімеру. Проте при збільшенні кількості сорбованої води зростає рухливість молекул крохмалю і лінійна складова полімеру - амілоза - утворює з водою істинний розчин. При цьому формується двофазна система набряклий гель-розчин.

Розчинність крохмалю зростає при підвищенні температури. Виявлено [51], що після нагрівання вище температури желатинізації істотно змінюються як розмір гранул крохмалю, так і їх розподіл по розмірах. Максимальне збільшення діаметру гранул крохмалю - в  $\sim 3,5$  разу. На прикладі крохмалю, виділеного з рису, [52] картоплі, [53] і пшениці, [54] методами диференціальної сканувальної калориметрії (ДСК), реології і поляризаційної мікроскопії вивчена поведінка системи крохмаль - вода в широкому діапазоні температур. У надлишку води при температурах від 35 до 55 °С розмір гранул крохмалю збільшується слабо, потім при 65 °С він зростає різко (на 55 %) і досягає максимуму при 75 °С. Вище за цю температуру гранули руйнуються, що супроводжується зникненням кристалічності. Термостатування при вказаних температурах призводить до росту в'язкості системи аж до желатинізації. Охолодження водного розчину крохмалю знову призводить до утворення гелю, який

складається з набряклих гранул, що містять в основному амілопектин; амілозна складова крохмалю зосереджена переважно в міжгранульному просторі.

При поєднанні з водою пшеничного або картопляного крохмалів утворення гомогенних сумішей полегшується при екструзії компонентів [55, 56]. Пластифікація крохмалю водою при одночасній дії на нього температури і механічної напруги дозволяє значно змінити фізичні і механічні властивості системи крохмаль-вода. Причина таких змін полягає в безповоротному руйнуванні гранул крохмалю, причому механічна дія є головним чинником безповоротності процесу.

Методами ДСК і динамічного термомеханічного аналізу в роботі [57] вивчений вплив змісту гліцерину (у діапазоні 14 - 39 % мас.) і води (в межах 1 – 28 % мас.) на фазову поведінку крохмалю з ячменем. При низькому вмісті води і гліцерину в крохмалі зразки є гомогенними однофазними системами. Автори вважають, що сильна взаємодія крохмалю з гліцерином в зразках, що містять менше 20 % мас. води, ускладнює кристалізацію амілопектину і система залишається аморфною і однофазною. Підвищення змісту пластифікаторів призводить до розподілу суміші на збагачену і збіднену крохмалем фази, які проявляються у вигляді піків механічних втрат, відповідних  $T_c$  окремих фаз.

Застосування в якості пластифікаторів одночасно води і гліцерину дозволяє отримувати гнучкі термопласти крохмалю шляхом компресійного пресування і екструзії [58].

#### **2.4. Хімічна модифікація крохмалю**

Ще одним методом, що дозволяє отримувати матеріали на основі крохмалю, є його хімічна модифікація, що полягає в проведенні полімераналогічних перетворень (найчастіше шляхом етерифікації

гідроксильних груп), або у введенні в макромолекулу полісахариду фрагментів іншої хімічної природи (отримання прищеплених сополімерів).

Механічні властивості плівок з ацетильованого крохмалю визначаються природою крохмалю [59], оскільки залежать від вмісту в початковому полімері амілози та амілопектину [60]. Плівки з підвищеним вмістом розгалуженого ацетату амілопектину мають дуже малі деформації при розриві і є крихкими.

Ацетати крохмалю мають значно меншу гігроскопічність, ніж немодифікований крохмаль [61]. Етерифікація покращує розчинність і здатність до набрякання в органічних середовищах. Гелі ацетильованих крохмалів менш жорсткі, більш пружні і прозорі, ніж гелі вихідного крохмалю. Виняток становить ацетат низькоамілозного крохмалю, проте, на відміну від нативного крохмалю, ацетильовані продукти менш здатні до біорозкладу, оскільки етерифікація перешкоджає дії ензимів на крохмаль [62].

Матеріали, що біологічно розкладаються, повинні поєднувати високий рівень механічних і інших важливих експлуатаційних і технологічних властивостей (міцність, низька газопроникність, екологічна безпека, та ін.) із здатністю до біорозкладу. Найбільш доступні і знаходять практичне застосування матеріали на основі крохмалю або його сумішей з синтетичними полімерами.

## **2.5. Способи отримання та властивості термопластичного крохмалю**

Зацікавленість у використанні крохмалю в якості основи для пакувального матеріалу виникла в 1970-х роках, коли екологічна свідомість інтенсивно зростає. З того часу став помітний сталий розвиток нових продуктів. Здатність конкурувати в ціні з використанням традиційних матеріалів, таких як синтетичні полімери, завжди був необхідний для загального визнання цих нових матеріалів.

Переваги полімеру, крім свого природного походження і біологічного розкладання, в тому, що він має гнучкі ланцюги із сильним внутрішньомолекулярним зв'язком; недоліком є його крихкість і відносно швидка ретроградація. Ці недоліки можуть бути подолані замінивши частину води в крохмалі на в'язкі мастила. Додавання такого мастила зменшує тертя між молекулами і, отже, знижує температуру склування [51-53].

Приклади застосування крохмалю: компостування мішків для сміття, сільськогосподарські плівки, квіткові горщики для розсади, в якості плівок, контейнерів. З точки зору технології біодеградабельні продукти повинні володіти певними властивостями. Матеріал повинен бути аморфним і (бажано) прозорим з температурою плавлення нижче 100 °С, щоб уникнути слідів випаровування води під час формування, він повинен мати низьку температуру склування, щоб уникнути крихкості при низьких температурах. Нарешті він повинен бути конкуруючим з традиційними пластиками по механічним властивостям, технологічностію і ціною [54].

Термопластичний крохмаль (ТПК) отримують двома способами – одно- і двостадійним. За першим – чистий крохмаль подається безпосередньо у двошнековий екструдер, а потім – вода і пластифікатор у рідкому стані. У двостадійному процесі спочатку готується гомогенізована суміш крохмалю, води і пластифікатора, яка потім направляється у піч, що дозволяє пластифікатору проникати всередину гранули. Після охолодження додається невелика кількість води, і потім суміш направляється в екструдер [55].

ТПК переробляють різними методами. Прикладами переробки є екструзія, лиття під тиском, термоформування, екструзійно – видувне формування.

Дуже поширений метод екструзії. Хоча існують різні типи екструдерів, ТПК переробляють, головним чином, на одночерв'ячних та двочерв'ячних екструдерах. Розходження у цих двох типах машин –

транспортний механізм. Одночерв'ячний екструдер складається з одного шнеку, що обертається в матеріальному циліндрі, транспортний механізм якого заснований на терті матеріалу і стінками циліндру. Тому, якщо матеріал ковзає по стінках матеріального циліндру, то йому дуже важко буде просуватися вперед. Отже, одночерв'ячні екструдери менш придатні для переробки сумішей, подібних до ТПК, у яких міститься велика кількість води, гліцерину та ін. Але багато процесів з крохмалем можливі й на цьому типі екструдеру.

Крохмаль можна змішувати з різними видами полімерів. Прикладом суміші є «полімолочна кислота – крохмаль». Полімолочну кислоту часто змішують із ТПК для підвищення здатності до біологічного розкладу і рентабельності виробництва. Тим більше, ці суміші не мають великої міцності, тому до них часто додають пластифікатори, такі, як гліцерин або сорбіт, для того, щоб зробити їх більш еластичними. Оскільки крохмаль чутливий до вологи, то сфери його використання обмежені, де вологість дуже висока або дуже низька [56].

Про якість напівфабрикату можна легко судити по водопоглинанню і коефіцієнту розчинності у воді. Розчинність у воді означає кількість крохмалю, що дійсно розчиняється у воді, і це є мірою деградації молекул крохмалю. Коефіцієнт поглинання води є мірою для утримання води, і це пов'язано з желатинізацією і (меншою мірою) деградацією крохмалю. Згалом можна сказати, що оптимальні продукти на основі ТПК можуть бути досягнуті, якщо індекс розчинності у воді є низьким і індекс поглинання води є високим [57].

Тривимірні об'єкти виготовляються методом лиття під тиском. ТПК розплавлений в екструдері збирається в резервуар, після чого він партіями впорскується під високим тиском в охолоджену форму. Через потік у формі молекула буде розтягуватися і орієнтуватися [58].

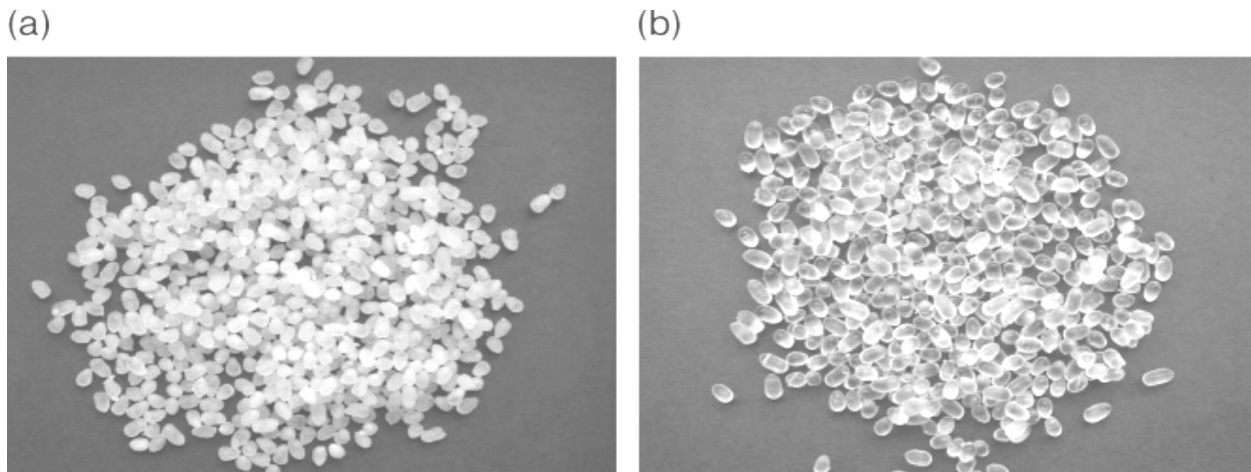
ПЕ плівка, що містить крохмаль і інші елементи, широко використовується на ринку. У ній крохмаль використовується максимум 10

% мас. Крохмаль повинен бути висушений до менш ніж 1 %-ної вологості, щоб уникнути пароутворення під час екструзії, і гранули крохмалю є поверхнево – активними, щоб збільшити сумісність крохмалю з гідрофобною матрицею пластика. У цих матеріалах, крохмаль може розвиватися в безперервну фазу. Хімічна обробка крохмалю призводить до розвитку вільних радикалів в ланцюзі крохмалю, і вони можуть діяти в присутності різних полімерів (ПС, ПЕ), як макроініціатори з отриманням полімерних сполук з високою молекулярною масою [55-59].

Крохмаль розкладається на вуглекислий газ і воду у відносно короткий період часу відносно більшості синтетичних полімерів. В силу певних недоліків в існуючій технології для виробництва матеріалів, що біологічно розкладаються, в останні роки були великі масштабні дослідження в збільшенні кількості крохмалю, який може бути використаний в крохмаль - полімерних композиціях. Кінцева мета цих досліджень є отримання комерційних товарів, вироблених з чистого крохмалю для одноразового використання, і виключити із складу синтетичні полімери [56].

ТПК, здається, ідеальним матеріалом, оскільки його можна отримувати звичайними технологіями, що використовуються у виробництві синтетичних пластмас (екструзія, лиття під тиском). Для отримання ТПК (рис. 2.2), теплова та механічна обробка повинні руйнувати напів-кристалічні гранули крохмалю.

Оскільки температура плавлення чистого крохмалю істотно вище, ніж температура розкладу є необхідність використовувати пластифікатори, такі як вода. Під впливом температури і деформації природна кристалічна структура крохмальних зерен і полісахаридів порушується і формується безперервна полімерна фаза [57].



**Рис. 2.2.** Термопластичний крохмаль з різним вмістом гліцерину: а) 15 % мас. гліцерину і б) 25 % мас. гліцерину [58].

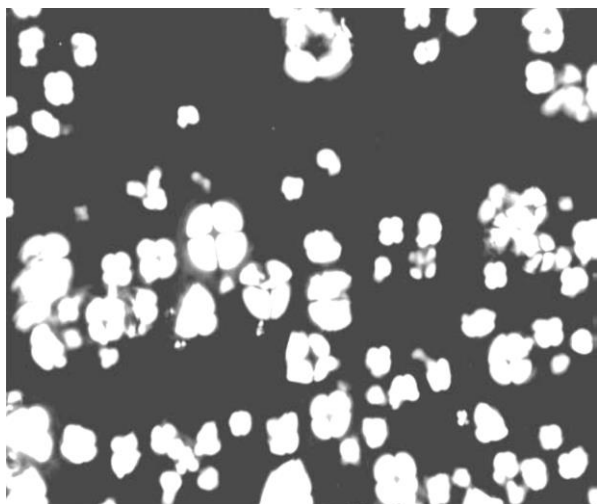
Для покращення механічних властивостей матеріалів на основі ТПК, використовують інші добавки. Вони включають в себе емульгатори, целюлозу, відходи промислових полімерних плівок, кору, каолін, пектин та ін. Крім використання в якості наповнювача для виготовлення армованого пластику, природний крохмаль не має широкого застосування і потребує модифікації. Його суміші з іншими полімерами та пластифікаторами покращують бар'єрні й механічні властивості. Нелеткі пластифікатори, такі, як поліоли, зменшують температуру плавлення крохмалю, і за високих температур він перетворюється на пластичну масу, відому як ТПК. Вважають, що пластифікатори зменшують діяльність мікроорганізмів за рахунок зменшення активності води. У процесі утворення термопласту додані вода й пластифікатори утворюють водневі зв'язки з крохмалем, заміщуючи внутрішньомолекулярні, що зумовлює утворення ТПК [59].

Крохмаль організована форма морфологій у вигляді дискретних частинок, гранул. Діаметр гранул зазвичай становить від менше 1 мкм до більш ніж 100 мкм, і форми можуть бути регулярними (наприклад, сферична, яйцеподібна або кутова) або досить нерегулярними. Гранули крохмалю, що складаються в основному з двох гомополімерів:

глюкопіраноз з різними структурами: амілози, яка складається з одиниць D-глюкози пов'язані через  $\alpha$ -D-(1-4) зв'язків і амілопектину, розгалуження полімеру крохмалю, що складається з  $\alpha$ -D-(1-4)-глюкози. Амілоза є лінійним полімером. Амілозу можна також уявити, у вигляді гідрофобних спіралей, які дозволяють формувати комплекс вільних жирних кислот, компонентів жирних кислот – гліцеридів, деяких спиртів і йоду. Амілопектину більше ніж амілози і його ланцюг класифікується як ланцюжок, із середнім ступенем полімеризації (DP) близько 15. Ця конфігурація вносить свій внесок у кристалічну природу крохмальних гранул, кристалічність відображає організацію амілопектинових молекул усередині гранули крохмалю.

Отже, структура гранул крохмалю залежить частково від тонкої структури і співвідношення амілози і амілопектину. Нарешті, будова гранул в свою чергу, визначає доступність крохмальної структури до води та хімічних реагентів, що впливають на властивості модифікованих крохмалів.

У поляризованому світлі характерна наявність кристалічної структури, інтерференційна картина називається «мальтійський хрест» (рис. 2.3.). Сканувальна електронна мікроскопія була використана для вивчення поверхні і внутрішньої структури матеріалів. Таким чином, можна помітити вплив пластифікатора на формування і однорідність аморфної структури ТПК. Всі залишки гранул крохмалю, кристалічна структура, і структурні дефекти добре видно в отриманому матеріалі [62].



**Рис. 2.3.** Мальтійський хрест. Гранули крохмалю у поляризованому світлі

Відразу ж після обробки (наприклад, екструзії) крохмаль не показує будь-яку залишкову кристалічність (або значення нижче, ніж на 1 %). Тим не менш, кілька годин після виготовлення нового типу кристалічність буде розвиватися. Структури формуються за рахунок однієї спіралі амілози і вони можуть бути розділені на три типи, які називаються VA типу (не - гідратований), типу VH (гідратований), і EH типу. EH структура не стабільна і знаходиться під впливом вологи вона змінюється на тип VH, хоча загальна кількість кристалічної амілози залишається та ж сама. Сума V - типів кристалічної структури залежить від параметрів обробки. Чим більше матеріалу залишається в екструдері, тим більше EH - типу кристалічної структури формується. Це може бути результатом серйозного руйнування гранул крохмалю і звільненням амілози. Крім того, збільшення кута обертання і температури обробки викликає збільшення V - типу кристалітів.

Нижче 180 °C VH - тип структури розвиваються, в той час як вище цієї температури утворюються структури типу EH.

Кількість кристалітів амілози генерується і також впливає на склад суміші. Це число пропорційно кількості амілози в крохмалю. VH – тип структури формується з екструдованого ТПК з вмістом води понад 10 %, в

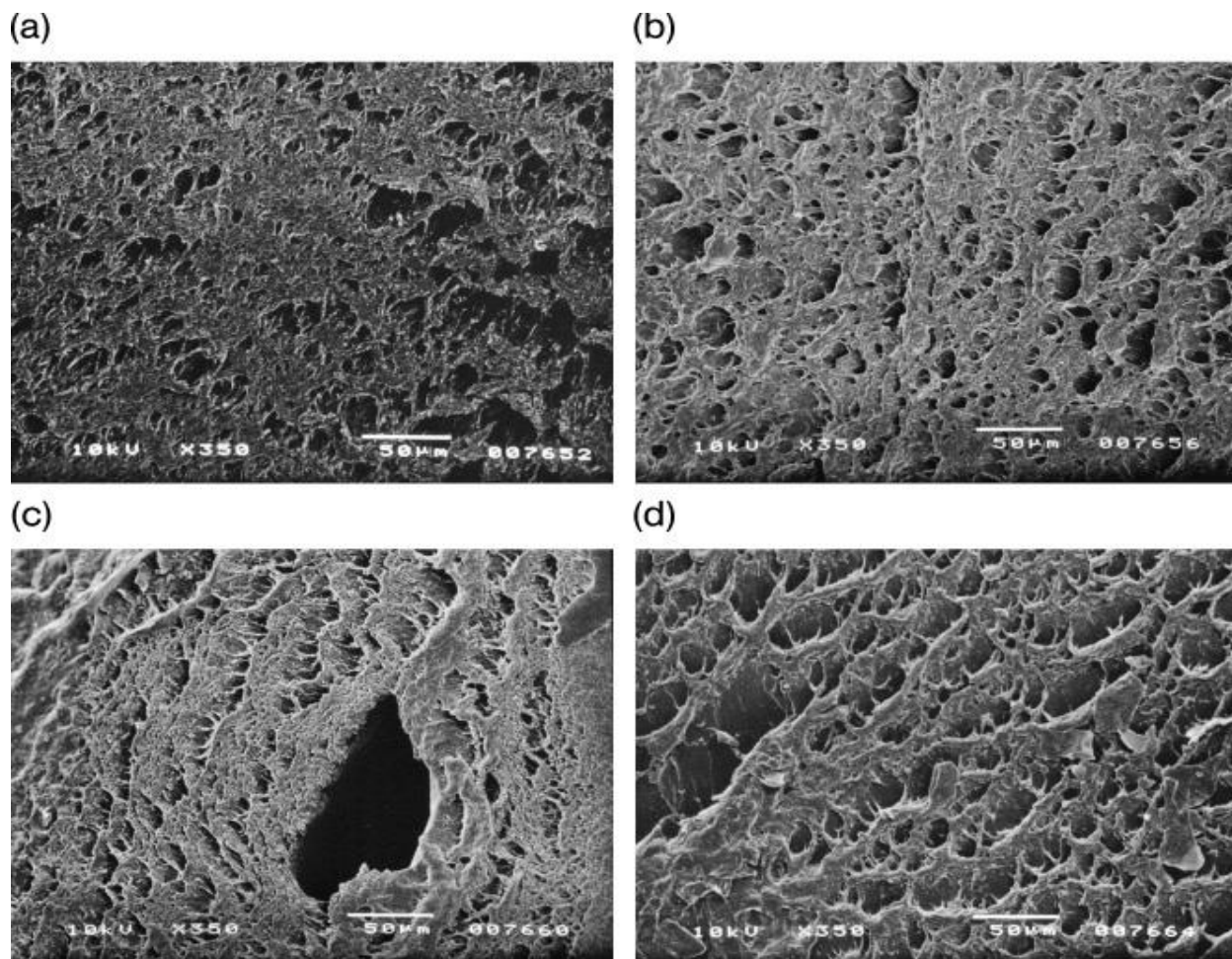
той час ЕН і VА - тип структур в основному формуються у матеріалах, що містять відносно невелику кількість води (до 10 % мас). Якщо вміст води у суміші збільшується, кількість ЕН – типу зменшується.

Другий тип перекристалізації говорить про те, що крохмаль пластифікується з гліцирином. Швидкість кристалізації залежить від походження крохмалю, складу амілози і умов зберігання. Коли вологість навколишнього середовища зростає, кількість кристалічних структур підвищується. Крім того, зі збільшенням терміну зберігання (зокрема, при температурі навколишнього рівня вологості більше 60 %) кількість кристалітів В типу збільшується.

Швидкість кристалізації ТПК при зберіганні істотно впливає на вміст пластифікатора. Велика кількість пластифікатора викликає підвищення мобільності ланцюгів крохмалю та знижує температуру склування. Кристалізація збільшується із зростанням вмісту води. Присутність гліцирину, навпаки, призводить до зменшення швидкості кристалізації при постійному вмісті води через деяку взаємодію між крохмалем і гліцирином, знижуючи рухливість ланцюгів крохмалю. Через гігроскопічність гліцирину вміст води звичайно збільшується, що знижує температуру склування і підсилює кристалізацію [63-64].

ТПК матеріали, отримані з кукурудзяного і пшеничного крохмалю володіють губчастою структурою з численними порами, а також рівномірним просторовим розподілом масового грануляту.

Желатинізований крохмаль, оточений полімерною матрицею присутній в матеріалах, отриманих з картопляного крохмалю з 20 % мас. гліцирину піддається утворенню однорідної структури. У випадках, матеріалів, отриманих з кукурудзяного і пшеничного крохмалю, явно відзначене формуванням великих пор зі зростанням вмісту гліцирину з 20 до 25 % мас..



**Рис. 2.4.** Внутрішня структура гранул з пшеничного та кукурудзяного крохмалю з різним вмістом гліцерину, %, мас. збільшення  $\times 350$ : а) кукурудзяний крохмаль, 20, б) кукурудзяний крохмаль, 25, с) пшеничний крохмаль, 20, і d) пшеничний крохмаль, 25. [65]

## 2.6. Термопластичний крохмаль та суміші на його основі

Крохмаль у виробництві пластмас використовують як наповнювач до синтетичних полімерів і як основу для створення композиції. Останні називають ТПК, переваги якого над композиціями з синтетичних полімерів в тому, що вони майже на 100 % розкладаються в ґрунті [66].

Для переробки крохмалю в ТПК необхідно його деструктувати, що відбувається під дією домішок, температури та тиску. Причиною цього є те, що крохмаль нагрівають вище температури склування та плавлення його складових так, що вони піддаються ендотермічному перетворенню,

грубо кажучи, зі зростанням температури і в присутності води, зерна крохмалю набухають та руйнуються (лопаються).

В присутності невеликої кількості води при нагріві (135-150 °C) відбувається руйнування гранул крохмалю, полімер набуває термопластичні властивостей, а також з нього при високих тисках формують різні вироби.

Після досягнення температури клейстеризації кристалічна структура гранули руйнується і процес набухання стає необоротним. Температури фазових переходів для крохмалю та властивості отримання ТПК залежать від складу крохмалю: співвідношення амілози та амілопектину, а також їх молекулярної маси. При взаємодії крохмалю та води, утворення гомогенних сумішей полегшується при механічній взаємодії при екструзії. При цьому відбувається повна руйнація зерен крохмалю та часткова деструкція полісахаридів. Екструзійну обробку можна проводити при низькій та підвищеній температурах. Підвищення температури переробки від 90 до 180 °C призводить до збільшення розчинності екструзійного крохмалю до 90 – 95 % мас. Екструзійні крохмалі являють собою продукти, отримані в умовах інтенсивної волого термічної обробки при підвищеній вологості (до 35 %) та температурі (до 200 °C) з використанням значних механічних впливів. Глюкозні відгалуження ланцюга починають руйнуватись при 150 °C, а при температурі вище 250 °C гранули крохмалю руйнуються. В процесі екструзії попередньо зволожений матеріал підлягає стисненню в шнекових екструдерах, розігріву з клейстеризацією крохмалю і наступним видавлюванням через сопла матриці.

Присутність амілопектину, а також деструкція в процесі переробки погіршують міцнісні властивості крохмальних матеріалів, вони стають нееластичними і крихкими. Підвищення еластичності досягається введенням пластифікаторів. Пластифікаторами найчастіше виступають вода, гліцерин, формахід, сорбіт, поліоксиетиленгліколь, сечовина, поліюлі, жири, поліефіри та ін. [59]. Взаємодія між пластифікатором і

крохмалем не значні при вмісті пластифікатора менше 10 % мас. - матеріал крихкий та важко переробляється. При вмісті пластифікатора вище 20 % мас., спостерігається збільшення гнучкості і подовження [66] і зниженні міцності, збільшення розчинності. Температура склування ТПК істотно знижується зі збільшенням вмісту води.

Зазвичай гліцерин та воду використовують разом [64]. При дослідженні виявлено, що велика взаємодія крохмалю з гліцерином у зразках з вмістом води до 20 % мас. ускладнює кристалізацію амілопектину (який краще пластифікується водою) і система залишається аморфною. Властивості ТПК залежать від вмісту води і відносної вологості повітря [65]. При подальшій витримці ТПК з кукурудзяного і картопляного крохмалю в умовах високої відносної вологості (до 90 %) відбуваються процеси докристалізації крохмалю в присутності води і гліцерину, в результаті збільшуються міцність на розрив, але знижується еластичність, так само відбувається зміна температури склування за рахунок ущільнення аморфних областей структури крохмалю [66]. Композицію, до складу якої входять кукурудзяний крохмаль (із співвідношенням амілози і амілопектину 25:75), гліцерин (16 % мас.) і вода (14 % мас.), використовують для виготовлення виробів литтям під тиском. Зразки у формі гантелей витримували в умовах навколишнього середовища при вологості 50 % протягом 4 тижнів. Після чого було визначено, що при зберіганні в умовах навколишнього середовища: міцність на розрив збільшувалася з 1 до 5 МПа, проте зразки ставали крихкими і жорсткими (коефіцієнт подовження знижується з 45 до 5 %, модуль пружності збільшився з 20 до 425 МПа) [67].

Зміна вмісту гліцерину в крохмалі в межах 15-35 % мас. веде до зниження температури склування і міцності при розтягуванні, але до підвищення ударної в'язкості і відносного подовження при розриві. При вмісті гліцерину в композиції понад 40 % мас. спостерігається дегомогенізація матеріалу плівки [68]. Але для композицій, що

використовуються в медицині як тканина для зупинки крові (еластичний бинт), де необхідний високий коефіцієнт подовження, допускається вміст гліцерину від 30 до 60 % мас. Недоліком такої тканини є зміна фізико-механічних властивостей з часом витримування в навколишньому середовищі, але швидкість такого старіння знижується зі збільшенням вмісту пластифікатора [69].

На крохмаль крім гліцерину пластифікуючий вплив мають інші поліоли: сорбіт і ксиліт. Зазвичай композиції крохмалю з даними пластифікаторами використовуються для виготовлення харчових плівок для упаковки, в тому числі і їстівних. Автори робіт [70] досліджували вплив гліцерину, сорбіту, ксиліту та їх бінарних сумішей на картопляний крохмаль на механічні властивості і бар'єрні характеристики отриманих методом поливу плівок, в яких вміст пластифікатора 20-60 % мас. Найбільший ефект пластифікації спостерігався у гліцерину, найменший - у сорбіту. Кращі бар'єрні властивості спостерігалися у плівок з бінарним пластифікатором гліцерин-сорбіт, середні у решти, крім композицій з гліцерином. Встановлено, що при збільшенні вмісту пластифікатора і вологості навколишнього середовища зменшується модуль Юнга і збільшується коефіцієнт подовження. Автор зазначає, що при вологості 54 % спостерігається кристалізація ксиліту в плівках, від чого зразок ставав крихким. Для зразків ТПК з гліцерином 40 % мас в умовах зміни вологості 33-76 %, механічні властивості були наступними: коефіцієнт подовження  $\varepsilon = 40-50 \%$ , міцність на розрив  $\sigma = 2-4$  МПа, модуль Юнга  $E = 50-100$  МПа; для ТПК з ксилітом:  $\varepsilon = 15-20 \%$ ,  $\sigma = 7-8$  МПа,  $E = 200-250$  МПа; для ТПК з сорбітом  $\varepsilon = 30-60 \%$ ,  $\sigma = 6-16$  МПа,  $E = 100-450$  МПа; для бінарної суміші гліцерину з ксилітом:  $\varepsilon = 40-110 \%$ ,  $\sigma = 1-3$  МПа,  $E = 50-100$  МПа; для бінарної суміші гліцерину з сорбітом:  $\varepsilon = 30-100 \%$ ,  $\sigma = 3-4$  МПа,  $E = 30-100$  МПа; для бінарної суміші сорбіту з ксилітом:  $\varepsilon = 50-80 \%$ ,  $\sigma = 3-5$  МПа,  $E = 20-100$  МПа.

Фізико-механічні властивості ТПК залежать від типу і молекулярної маси пластифікатора: зі збільшенням молекулярної маси зростає температура склування і міцність, знижуються вологопоглинання і відносне подовження при розриві. Наприклад, формамід [71] утворює більш міцну систему Н-зв'язків в ТПК, ніж гліцерин, що підвищує енергію розриву (з 1,1 до 2,18 Н • м) порівняно з гліцерином і відносне подовження при розриві (з 85 до 106 %), а модуль пружності (з 184 до 44 МПа) і міцність (5,5 до 3,4 МПа) при цьому знижуються. Таку композицію отримують екструдуюванням при температурі 120-140 °С і її можна використовувати в якості пакувального матеріалу [72]. Замінивши формамід етиленбісформамідом (ethylenebisformamide), отриманим при кип'ятінні етилендіаміну і метилформіату при температурі 108-110 °С, до того ж поліпшуються водовідштовхувальні властивості композиції [73].

Найчастіше полімерні матеріали на основі відтворюваних біологічних ресурсів створюють на основі бінарних, потрійних і багатокомпонентних сумішей крохмалю з іншими полісахаридами (целюлозою, хітином, хітозаном та їх похідними) [74]. Крім того, для поліпшення міцнісних властивостей ТПК і збільшення стійкості до водопоглинання, його змішують з синтетичними полімерами: поліефірами гідроксикарбонових кислот (полілактидами і полігідроксиалканоатами) [75], капролактоном [76], натуральним каучуком [77], ПВС [78], поліолефінами [79], ПС, ПВХ та ін. термопластами [80].

Так само стійкість ТПК композиції до водопоглинання можна підвищити додавши зшиваючі агенти з подальшим опроміненням для активації процесу зшивання. Наприклад, композиція, що складається з водної дисперсії крохмалю, мікроцелюлози або ПВС і гліцерину у присутності бензоата натрію опромінювали УФ. В результаті чого відбувається зшивання і, як наслідок, поліпшуються властивості композиції: зі збільшенням вмісту мікрокристалічної целюлози і часу УФ опромінення, збільшуються властивості міцності (руйнівне напруження,

межа текучості, модуль пружності) і зменшується вологопоглинання композиції [81].

Термопластичні матеріали повинні зазвичай оброблятися при відсутності води або летючих матеріалів. Крохмаль не розплавляється при відсутності води, але розкладається при підвищеній температурі приблизно 240 °С. Крохмаль, що містить певну кількість води, при нагріванні в закритій посудині, утворює розплав деструктованого крохмалю і проявляє ті ж властивості текучості як і розплави, отримані з термопластичних синтетичних матеріалів з порівнянними значеннями в'язкості [82].

Для того, щоб деструктувати крохмаль, його зручно нагрівати в черв'ячному барабані екструдера протягом певного часу, при температурі в межах 105 – 190 °С, залежно від типу крохмалю, що використовується. Отриманий таким чином крохмаль гранулюють, і ці гранули використовуються для виробництва виробів як литтям під тиском так і екструзією, а також можуть бути використані для змішування з синтетичним полімером. Процес змішування можна проводити в екструдері в межах тисків, які є при екструзії або литті під тиском і відомі самі по собі, наприклад  $0 - 150 \cdot 10^5$  Н/м<sup>2</sup>. Якщо розплав піддається литтю під тиском, то створюється нормальний тиск, що використовується для лиття під тиском, а саме  $300 \cdot 10^5 - 3000 \cdot 10^5$  Н/м<sup>2</sup>.

Для виробництва плівок з біодеградабельних матеріалів на основі крохмалю, існує кілька технологій: поливом, розпиленням (напиленням), екструзією і термоформуванням. У лабораторних умовах найчастіше плівки отримують методом поливу плівкоутворювального крохмального розчину з водою (або іншими пластифікаторами) на гладку поверхню. Після чого плівка підлягає сушінню і при випаровуванні води утворюються водневі зв'язки, що формують структуру плівки. Одним з різновидів методу поливу є метод занурення.

Варіюючи параметрами: температура, вологість, час витримання, сушіння, можна контролювати властивості отриманої плівки. Також плівки

отримують методом напилення на поверхню виробу. Найпоширенішим способом, як і для синтетичних полімерів, є екструзія, в результаті чого можна отримувати не тільки плівки, а й листи. Так само можна отримувати і термоформуванням з попереднім змішуванням в змішувачі або екструдері, після чого продавлюють (форми, штампи) між двома розігрітими пластинами, щоб отримати плівку.

Але у всіх випадках плівкоутворюючий розчин готують підігріваючи крохмаль до температури желатинізації в присутності води, додаючи пластифікатор до желатинізації крохмалю або після в гарячий розчин при температурі близькій до 95 °С. Нагрівання і розчинення здійснюється в герметичній посудині, коли розчину надають форму плівки, здійснюється процес сушіння за різних умов, формуючи плівку з різними властивостями.

У ТПК для поліпшення переробки можна додавати сполуки, що поліпшують властивості текучості крохмалю, такі як тваринні і рослинні жири, особливо ті, які є твердими при кімнатній температурі. Ці жири можна додавати самі по собі без додавання наповнювачів або пластифікаторів у кількості до 5% мас [82].

На даний момент налічується безліч дослідних установ і виробників полімерів на основі натуральних відтворюваних ресурсів, серед них: BIOPLAST™ (Biotec GmbH, Німеччина), BAK-1095, BAK-2195 (BASF і BAYER AG, Німеччина), Ecoplast™ (Groen Granulaat, Канада), Eco™ (National Starch and Chemical Company, США), Celgreen™ CA-BNE (Daicel Chemical Industries, Японія), EverCorn Resin™ (Japan Corn Starch, Японія), Mater-Bi™ (Novamont SpA, Італія), Novon (Warner-Lambert Co, США), Solanyl™ (Rodenburg Biopolymers BV, Голландія), Biopac™ (Biologische Vorpackungssysteme, Німеччина), Bioceta™ (Tubize Plastics, Франція), Research Development (Японія), Biocell (Франція), Plantic (Planti's Technologies Ltd., (Швейцарія), NatureFlex Innovia Films (Великобританія), New Greensack (Convex Plastics, Італія) [83] та ін.

Одним з головних недоліків композицій з відновлюваних джерел є їх домінуючий гідрофільний характер, швидка деградація, і, в деяких випадках, незадовільні механічні властивості, зокрема, у вологому середовищі. В принципі, властивості природних полімерів можна значно поліпшити змішуванням з синтетичними полімерами [115]. У 1990-х роках було багато зроблено для отримання полімерів на основі крохмалю з метою збереження нафтохімічних ресурсів, зменшення впливу на довкілля і скорочення пошуку додаткових компонентів. Численні суміші крохмалю з різними поліолефінами були розроблені [84]. Основною метою використання крохмальних зерен у більшості з цих випадків було, щоб збільшити площу поверхні, доступної для атаки мікроорганізмів.

## Розділ 3 СВІТОВИЙ ДОСВІД ТА ВИДИ БІОПЛАСТИКУ

### 3.1. Аналіз ринку біопластику

Так, 3 листопада 2020 року Верховна Рада України відправила на повторне читання законопроект № 2051-1, який пропонує заборонити пластикові пакети з 2022 року. В документі пропонують заборонити продає пластикових пакетів в об'єктах роздрібної торгівлі та об'єктах ресторанного господарства товщиною до 50 мкм з 1 січня 2022 року.

Відповідно до результатів останніх ринкових даних, зібраних European Bioplastics у партнерстві з nova-Institute, світові потужності з виробництва біопластиків збільшаться з показника близько 2,42 млн. тонн у 2021 році до позначки майже 7,59 млн. тонн у 2026 році. Тим самим частка біопластиків у світовому виробництві пластмас вперше подолає двовідсоткову позначку (рис. 3.1).

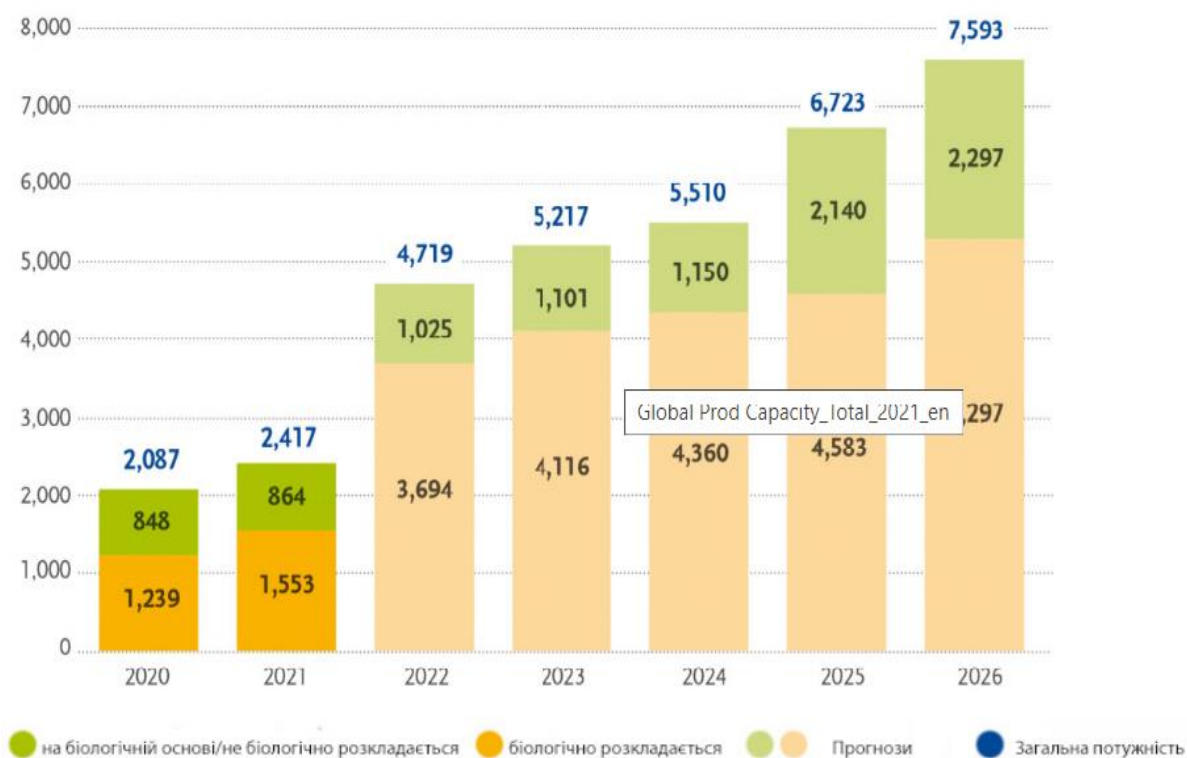


Рис. 3.1. Світова потужність виробництва біопластику

Станом на теперішній час біорозкладні пластики, включаючи PLA, PHA, крохмальні суміші та інші, займають понад 64% (понад 1,5 млн тонн) світових виробничих потужностей з виробництва біопластиків. Передбачається, що обсяги виробництва збільшаться майже до 5,3 млн тонн у 2026 році завдяки активному розвитку таких полімерів, як PBAT (полібутилен адипат терефталат) і PBS (полібутилен сукцинат), а також постійному зростанню обсягів виробництва полімолочних кислот (PLA).

Загалом біологічні небіорозкладні пластмаси складають близько 36% (понад 865 тис. тонн) світових потужностей з виробництва біопластиків. Сюди також відносяться такі розчини, як ПЕ (поліетилен) на біологічній основі та ПЕТ (поліетилентерефталат) на біологічній основі, а також ПА (поліаміди). Очікується подальше зниження їх відносної частки до рівня більш ніж 30 відсотків у 2026 році. Однак в цілому потужності з виробництва біополімерів зростатимуть протягом наступних п'яти років і складуть близько 2,3 млн. тонн. В період, коли виробничі потужності ПЕТ на біологічній основі продовжують скорочуватися, основна увага приділяється розробці ПЕФ (поліетиленфураноат) – нового полімеру, поява якого на світовому ринку очікується у 2023 році. PEf можна порівняти з ПЕТ, але він на 100% складається з біоматеріалів і характеризується чудовими бар'єрними та термічними властивостями, що робить його ідеальним матеріалом для пакування напоїв, харчових та нехарчових продуктів (рис. 3.2).



Рис. 3.2. Світові виробничі потужності біопластиків (2021-2026 рік)

Біопластик використовують в дедалі більшій кількості ринків, від пакування, харчової промисловості, побутової електроніки, автомобілебудування, сільського господарства/садівництва та іграшок до текстилю.

Найбільшим сегментом ринку біопластиків продовжує залишатися упаковка, на яку припадає 48% (1,15 млн тонн) від загального ринку біопластиків у 2021 році. Проте спектр його застосування продовжує розширюватися. Зокрема, такі галузі, як автомобілебудування і транспорт, а також будівництво, продовжують розвиватися завдяки зростаючим можливостям функціональних полімерів [85-87].

### 3.2. Види біодеграбельних полімерів

Для того, щоб реалізувати ідею біодеградації полімерного матеріалу, необхідна комбінація трьох основних факторів: відповідні екологічні умови, наявність мікроорганізмів, які вибірково діють на полімерний матеріал, та полімерний матеріал певної хімічної структури. Якщо один з елементів відсутній, то біорозпад. Найбільш вживаним на ринку біорозкладними полімерами є полігідроксіалконоати, полілактиди та полімери на основі крохмалю. В меншій кількості застосовується

ацетильована целюлоза, полівініловий спирт, лігнін, полікапролактама та інші.

Під час виробництва природних полімерів використовується сировина на основі рослин, та продуктів життєдіяльності організмів. Під впливом мікроорганізмів води та ґрунту ці полімери розкладаються на вуглекислий газ та водний полілактид (PLA) або полілактонова кислота. Її отримують шляхом полімеризації молочної кислоти, яка виробляється шляхом мікробної ферментації цукру-сирцю. Базовий виробник – Nature – Works Company (США).

Полілактид (PLA) – прозорий, жорсткий, чутливий до температури термопласт, температура плавлення 170-180°C. За властивостями він подібний до поліетилентерефталату (PET) або гідрат целюлози (целофан). Характеризується водостійкістю, хороші естетичні якості (глянець, прозорість), а також краща здатність зберігати форму після стиснення в порівнянні з поліпропіленом (ПП), не пропускає ароматичні сполуки, біорозкладається у компості до вуглекислого газу, води та метану. Упаковка з PLA здатна повністю розкладись протягом 45 днів в умовах компостування та впродовж одного місяця в морській воді.

Багатошарові PLA – нанокompозити заслуговують особливої уваги.

Використання наночастинок як наповнювачів значно поширює можливості модуляції властивостей біорозкладності матеріалів (термостійкість, газопроникність, в'язкість розплаву та швидкість біорозкладання). Також відбувається покращення бар'єрних властивостей та значно прискорює біорозкладання PLA.

На ринку з'явилися нові матеріали, які придатні для використання в харчовій промисловості. Одержані композиції, які мають відмінну термозварювальність, містять 9-90% полілактиду, 9-90% аліфатичного поліефіру, 1-20% клейкого реагенту. Отримують аліфатичний поліефір полімеризацією із розкриттям циклічного лактонного циклу. Липкий компонент може бути похідний каніфолі, або аліфатичним, циклічним

вуглеводневим полімером. З таких композицій методом співекструзії отримують плівкові матеріали, які можна ламінувати з папером.

Наступним полімером природного походження, який розкладається за участі мікроорганізмів, є полігідроксіалканоатами – похідними поліоксималярної кислоти. Полігідроксіалканоат (ПГА) є поліефіром, як полілактид, вироблений шляхом ферментації відновленої сировини. Головна відмінність цих полімерів полягає в тому, що вони утворюються безпосередньо середині мікроорганізмів.

Основною сировиною для виробництва в США є кукурудзяний екстракт, а в Європі – цукровий буряк. Для деяких мікроорганізмів використовують також пальмову та соєву олію [82].

### **3.3. Переробка біодеграбельних полімерів**

За останні роки, у світі значно зріс інтерес до біорозкладних полімерних матеріалів та упаковок з них, які руйнуються під впливом різних мікроорганізмів.

Створення матеріалів з регульованим терміном служби, передбачає введення в них спеціальних добавок, які дадуть змогу прискорити розпад макромолекули полімеру. Для цих цілей використовують різні полісахариди, вміст яких досягає до 60%.

Макромолекула крохмалю представляє собою складну речовину та складається з двох полісахаридів які різні між собою за структурою та властивостями – амілози (20-30%) і амілопектину (70-80% від маси крохмалю). Ці обидва полісахариди побудовані з однакових глюкозних залишків, але амілоза має лінійну будову, а амілопектин- розгалужену.

Біодеградабельні полімери – це полімерні матеріали, що руйнуються в результаті природних (мікробіологічних та біохімічних) процесів.

Існує дві основні сфери життєдіяльності людини, які потребують застосування штучних біодеграбельних полімерів – це охорона навколишнього середовища та медицина.

Тому створення матеріалів з біодеграбельних полімерів необхідно, перш за все, для вирішення глобальної екологічної проблеми утилізації відходів, зокрема переробки пластику, який є основним пакувальним матеріалом. В більш розвинених країнах велика доля одноразового пакувального матеріалу вже проводиться з біодеградованих полімерів і наноглин, які безупередно мають кращі механічні та термічні властивості, а також швидше розкладаються за рахунок зменшення ступеня кристалічного полімеру. Під час процесу біодеградації макромолекули спочатку розпадаються на невеликі ділянки які називаються (олігомери), які в процесі переробляються бактеріями. У більшості випадках продуктами розпаду є вуглекислий газ і вода.

Застосування біорозкладних полімерів було зосереджено на трьох основних сферах: медичних, сільськогосподарських та споживчих товарах. Деякі з них увійшли в серійне виробництво. Через свою спеціалізовану природу та більшу вартість одиниці продукції, медичне обладнання розвивалися швидше ніж два інших [84].

## Розділ 4

### ПЕРСПЕКТИВИ БІОРОЗКЛАДНОГО ОДНОРАЗОВОГО ПОСУДУ

#### 4.1. Перспективи використання біорозкладного одноразового посуду

Одним із основних джерел забруднення є використання пластикового одноразового посуду. Його недостатня переробка та повільне розкладання в природі призводять до накопичення пластикових відходів, що негативно впливає на екосистеми та здоров'я людей, загрожує життю багатьох видів тварин та рослин. У зв'язку з цим дедалі більше людей усвідомлюють необхідність вжиття заходів щодо зменшення негативного впливу на навколишнє середовище та виникає потреба у пошуку альтернативних рішень. Одним із найперспективніших варіантів є використання біорозкладного одноразового посуду.

Комітет Верховної Ради з питань екологічної політики та природокористування розглянув доопрацьований законопроект № 6077 «Про заходи щодо запобігання та зменшення негативного впливу пластикових виробів на навколишнє середовище». Міндовкілля брало активну участь у розробці та подальшому доопрацюванні цього документа.

«Україні важливо й надалі слідувати сучасними європейськими тенденціями та імплементувати положення Директиви ЄС 2019/904 про скорочення впливу деяких полімерних виробів на навколишнє середовище. Країни ЄС вже встановили заборони на обіг такої продукції на своїй території. Крім того, наразі триває розробка глобальної конвенції світового масштабу, тож цим шляхом буде йти не лише європейський континент. І Україна також бере участь у розробці такої конвенції», – зазначив заступник Міністра захисту довкілля та природних ресурсів України Євгеній Федоренко.

Ще до війни, у червні 2021 року, Президент України Володимир Зеленський підписав Закон «Про обмеження обігу пластикових пакетів на території України». Наразі наша країна має зробити наступні кроки.

Доопрацьований законопроект «Про заходи щодо запобігання та зменшення негативного впливу пластикових виробів на навколишнє середовище» встановлює:

- заборону на обіг та розповсюдження одноразових пластикових виробів, таких як ватні палички, соломинки, одноразовий посуд, харчові контейнери, а також контейнери та ємності для напоїв із пінополістиролу тощо. Заборона стосуватиметься і всіх виробів з оксорозкладного пластику. Серед винятків, на які поки що не поширюватимуться обмеження через відсутність альтернатив, – контейнери з біорозкладного пластику та стакани з целюлози з полімерним покриттям, або так звані «паперові» стакани. Важливо, що йдеться саме про заборону розповсюдження та обігу таких виробів на території України. Проте їх виробництво для експорту буде дозволене. Тож український бізнес не буде позбавлений можливості й надалі працювати;
- обов'язкове європейське маркування для одноразових виробів, що містять пластик, але поки що не можуть потрапити під обмеження. Це стосується, наприклад, вологих серветок, тютюнових виробів з фільтрами тощо. Таке маркування інформуватиме споживача про наявність пластику у продукції, його вплив на довкілля, а також про екологічно безпечні способи поводження з відходами;
- інструменти стимулювання споживачів переходити на багаторазові альтернативи. Наприклад, шляхом зобов'язання об'єктів роздрібної торгівлі та закладів харчування надавати знижку не менше 10%, якщо споживач бере продукти харчування чи напої у свою багаторазову тару;

- підтримку для підприємств, які переорієнтовуватимуть діяльність на виробництво екологічних багаторазових альтернатив, зокрема у межах державної програми «Доступні кредити 5-7-9%»;
- механізми контролю за дотриманням закону;
- відповідальність за порушення вимог;
- період для адаптації бізнесу до нових правил.

На засіданні Екокомітет ухвалив рішення рекомендувати Верховній Раді прийняти законопроект за основу у першому читанні. Тож очікуємо на його розгляд у парламенті та якнайшвидше практичне втілення змін, які наближають нашу країну до ЄС.

Біорозкладний одноразовий посуд пропонує ряд переваг перед традиційними матеріалами, такими як пластик та скло. Він виготовляється з натуральних, органічних та екологічно чистих матеріалів, таких як деревна целюлоза, бамбук, пшенична солома, очеретяне борошно, кукурудзяний крохмаль, деревні волокна та інші компоненти, що біологічно розкладаються. Має здатність розкладатися природним чином під впливом мікроорганізмів, перетворюючись на компост та повертатися в природу протягом короткого часу, застосовуючись у сільському господарстві або садівництві, що дозволяє скоротити негативний вплив на навколишнє середовище. Крім того, виробництво біорозкладного посуду вимагає менше енергії та ресурсів у порівнянні з виробництвом пластикового посуду, що сприяє зниженню викидів парникових газів та екологічному сталому розвитку.

Перспективи використання одноразового посуду, що розкладається, величезні. По-перше, це допоможе знизити кількість пластикових відходів, які негативно впливають на довкілля. В даний час пластикові відходи становлять серйозну загрозу для морських тварин та птахів, які можуть випадково проковтнути шматочки пластику та загинути. Біорозкладний посуд може стати одним із рішень цієї проблеми.

По-друге, біорозкладний посуд розкладається природним чином при його викиді в природу. Він має здатність розкладатися під впливом мікроорганізмів та природних процесів, таких як біологічне розкладання, компостування та аеробна переробка. За наявності вологи та кисню він може повністю розкластися протягом кількох місяців чи років, залежно від матеріалу. Таким чином, використання посуду, що біорозкладається, знижує навантаження на звалища та допомагає скоротити обсяг відходів.

По-третє, використання біорозкладного посуду допоможе знизити споживання нафтопродуктів, які використовуються для виробництва пластикового посуду. Таке виробництво потребує значної кількості нафти, що негативно впливає на її запаси. Нафта є обмеженим та цінним ресурсом, її видобуток та переробка мають серйозні екологічні наслідки. Біорозкладні матеріали, що використовуються для створення посуду, є альтернативою нафтопродуктам, сприяючи зменшенню залежності від нафти та скорочення викидів парникових газів при її видобутку та переробці, скорочуючи потенційні негативні впливи на навколишнє середовище.

Перевагою використання біорозкладного посуду є можливість підвищення обізнаності та відповідальності споживачів щодо навколишнього середовища. При його використанні люди стають більш обізнаними про проблеми пов'язані з пластиковими відходами та їх вплив на екосистеми. Традиційний пластиковий посуд вимагає сотень років для розкладання, що призводить до накопичення сміття на звалищах та забруднення водних та природних ресурсів. Біорозкладний посуд, у свою чергу, розпадається швидше та не завдає стільки шкоди природі. Крім цього, виробництво такого посуду може створити нові робочі місця та підтримати економічне зростання у регіонах, де є доступ до сировини для його виробництва.

Біорозкладний одноразовий посуд стає все більш популярним як альтернатива традиційному пластиковому посуду. Крім того, цей посуд

має високий ступінь переробки. Після використання його можна зібрати і компостувати, що дозволяє отримати цінне органічне добриво, відновити родючість ґрунту. Це допомагає зменшити обсяг відходів, що відправляються на звалища або сміттєві полігони та сприяє підвищенню рівня утилізації та переробки відходів. Біорозкладний посуд також не містить токсичних речовин, які можуть виділятися в процесі розкладання пластикового посуду, й тому він безпечний для здоров'я.

Одним з ключових аспектів екологічної значущості одноразового біорозкладного посуду є його здатність знижувати викиди парникових газів. У процесі розкладання органічних матеріалів, що використовуються для його виробництва, виділяється значно менше парникових газів, ніж при розкладанні пластику. Це важливо з урахуванням зростаючої проблеми зміни клімату.

У сучасному світі, де проблема забруднення довкілля стає дедалі гострішою, важливо шукати альтернативні рішення. Однією з таких перспективних ідей є використання одноразового біорозкладного посуду. Це інноваційне рішення має потенціал змінити наш спосіб життя та зробити його безпечнішим, сприяє формуванню екологічного мислення.

## **4.2. Поради та рекомендації щодо розробки одноразового посуду на основі термопластичного крохмалю**

Також зростає попит на екологічні матеріали, що спричиняє підвищення рівня виробництва біополімерів, і це супроводжується пошуком нових сировинних та технологічних можливостей. З кожним роком у всьому світі зростає об'єм виробництва полімерних матеріалів, які здатні біологічно розкладатися. Стимулює його, крім екологічної чистоти виробленої продукції, в тому числі і пакувальної, можливість економії енергії при виготовленні біополімерів та скорочення викидів вуглекислого газу в атмосферу при їх утилізації [85]. Різноманітність застосування біополімерів призводить до збільшення номенклатури наповнювачів, що вносяться до компаундів, які біологічно розкладаються. Наповнювачі відіграють дуже важливу роль у виробництві біорозкладних пластиків, так як дозволяють знизити ціну готових матеріалів і поліпшити їх властивості, керувати швидкістю напіврозпаду по завершенні циклу використання. Для цілей наповнення зазвичай використовуються вторинні ресурси сільськогосподарських виробництв і деревообробки (перероблені особливим способом рослинні напівпродукти, в яких є целюлоза), вугільний пил, карбонат кальцію, глинисті мінерали.

За кордоном з кожним роком дедалі більше використовують еко-посуд з натуральних матеріалів. Зараз у зв'язку з невеликою кількістю підприємств, які його випускають, такий посуд коштує дорожче за пластиковий. І хоча кількість заводів з виготовлення еко-посуду зростає, сировина сама по собі досить дешева, тому що використовуються харчові відходи та вторинна сировина, а використання екологічного посуду дозволяє підвищувати ціни на продукцію та послуги. Адже еко-стиль автоматично ставить нас у люксовий сегмент.

Одним із широко розповсюджених типів тари є одноразовий стаканчик. Це – тип одноразового пластикового або паперового посуду,

який в індустрії харчування використовується для пакування, зберігання та подачі напоїв, а також деякої харчової продукції з нерідкою консистенцією. Низька вартість одноразових стаканчиків, легка вага й інші фізичні властивості зробили цей вид тари більш популярним у харчовій промисловості під час виробництва напоїв.

Згідно з даними [86], світовий ринок одноразових стаканчиків у 2018 році склав 13,77 млрд доларів, й очікується, що до 2027 року він досягне 27,75 млрд доларів. За орієнтовними даними світові обсяги виробництва одноразових стаканчиків складають 500–600 млрд одиниць на рік.

Під час виробництва одноразових стаканчиків використовують різні види нафтових пластиків, однак популярним у світі й, зокрема, Україні, є папір, ламінований тонким шаром поліетиленової плівки. Згідно з даними [87], в нашій державі за 2017 рік обсяг виробництва паперових стаканчиків склав до 1,06 тис. тонн. Використовуючи методологію оцінки життєвого циклу, грецькими вченими [88] встановлено, що світовий щорічний вуглецевий слід від використання паперового стаканчика складає близько 7,5 млн тонн еквіваленту CO<sub>2</sub>. Водночас авторами зазначено, що вторинне перероблення дозволяє зменшити вуглецевий слід до 40%, а використання багато-разових стаканів забезпечить скорочення викидів вуглецю в 3 рази.

Отже, використання одноразових стаканчиків, які виготовлені на основі або із залученням пластиків, ставить питання про вплив їхньої утилізації на навколишнє середовище. Привабливим технологічним шляхом для скорочення накопичення полімерних відходів, у тому числі одноразового посуду, вважається їхнє перероблення [89]. Як відомо [90], існує 4 основні категорії перероблення пластиків, у рамках яких здійснюється механічне перероблення з отриманням продукту еквівалентної якості (первинна), зі зниженням якості переробленого матеріалу (вторинна), хімічне перероблення (третинна) й спалювання для рекуперації енергії (четвертинна). Зазначені шляхи утилізації набули поширення в розвинених країнах світу; в Україні, на жаль, їм поки приділяють мало уваги.

В країнах Європи існує декілька заводів з перероблення паперового одноразового посуду, також існують ряд розробок інноваційних способів їхньої утилізації [90-95]. В Україні цей процес реалізується лише на Змієвській паперовій фабриці з можливою потужністю близько 500 тонн на місяць. Водночас постає питання налагодженої системи сортування, яка в Україні, на жаль, майже відсутня.

Одним зі шляхів розв'язання зазначених проблем, поряд із переробленням виробів із пластику, в тому числі і одноразового посуду, є використання біопластиків, які мають здатність до безпечного розкладання в довкіллі.

За харчовим призначенням одноразовий посуд поділяється на неїстівні та їстівні. До неїстівних можна віднести паперовий посуд, посуд з біорозкладних полієфірів (PLA, PHA тощо), дерев'яні, усі багаторазові, до їстівних – ті, що виготовлені з харчової сировини, у тому числі вторинної (з різних видів тіста, з гелеподібною структурою, з ово-чевої та плодово-ягідної сировини тощо).

За кількістю використань стакани поділяються на одноразові й багаторазові. До одноразових можна віднести паперові, з біорозкладних полієфірів, усі їстівні, з харчових відходів. До багаторазових в основному відносяться ті, що виготовлені з чистих біорозкладних полієфірів або їх композицій із додаванням різної харчової та нехарчової сировини (висівок, кавових жмивів, здрібнених частин рослин, дерев'яної тирси тощо) й мають високу стійкість до дії температури, вологи й інших факторів.

За наявністю бар'єрного покриття посуд можна поділити на ті, що його мають і на ті, що не мають. Бар'єрні покриття призначені для збереження нестійкої основи посуду (папір, їстівна основа) від дії різних середовищ (води з різним рівнем рН і вмістом розчинених речовин (солей, цукрів), жиру й емульсійних продуктів, водно-спиртових розчинів, якими є більшість напоїв). До них відносяться їстівні (шоколад і термостійка глазур, айсінг, білкові плівки, воскові й парафінові шари, природні смоли)

й неїстівні (ламінація паперового посуду PLA, водні дисперсії полімерних речовин). Посуд, який не покритий бар'єрними шарами, мають початкову водостійку основу – це, наприклад, біорозкладні поліефіри, желейні, деякі стакани з тіста, воскові.

За призначенням посуд можна поділити на той, що призначений для напоїв (гарячих або холодних) для сухої харчової продукції (наприклад, снекової).

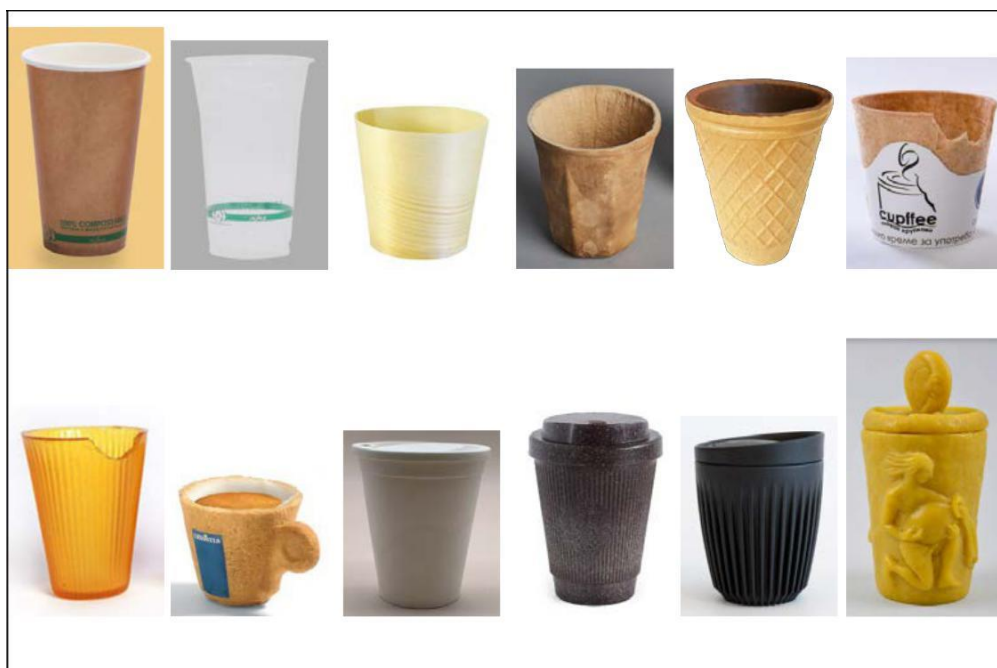
За поживною цінністю сировини посуд поділяються на той, що виготовлений з нехарчової сировини (деревина, папір, біорозкладні поліефіри), харчової сировини, з харчових відходів і вторинної сировини (висівки, кавові жмихи, овочеві й плодово-ягідні відходи) й комбіновані, що поєднують в собі ознаки попередніх (наприклад, на основі біорозкладних поліефірів із додаванням неїстівних частин рослин, висівок тощо).

За видом основної сировини посуд поділяється на виготовлені з паперу, біорозкладних поліефірів, продуктів перероблення зерна (борошна, крохмалю, висівок), полісахаридів (желейні), з овочевої (із сушеної продукції), з харчових (із залишків продукції тваринного й рослинного походження), композиційні, які зв'язувальну натуральну або синтезовану полімерну речовину й інертний наповнювач та інші (наприклад, воскові, дерев'яні та інші).

Слід зазначити, що посуд, які розглядається в цій класифікації, біорозкладні й не містять нафтових не біорозкладних полімерів.

Враховуючи запропоновану класифікацію, наведені конкретні приклади стаканів, які випускаються рядом вітчизняних і світових компаній, або існують у вигляді лабораторного прототипу (рис. 4.1).

Одним із перспективних видів харчових відходів для виробництва біопластиків і пакування з них є відпрацьована кавова гуща. Згідно з різними оцінками, станом на 2017 рік у світі утворюється близько 10 млн тонн відходів кавової гущі.



**Рис. 4.1.** Приклади стаканів на біологічній основі

1 – Стаканчик одноразовий із паперу, ламінований плівкою з PLA для гарячих напоїв (виробник – компанія Avani, Балі, Індонезія); 2 – Стаканчик одноразовий із PLA для гарячих напоїв (виробник – компанія Avani, Балі, Індонезія); 3 – Стаканчик одноразовий із дерева для сухих продуктів (виробник – Ecovilka); 4 – Стаканчик одноразовий із висушеної оболонки спеціального сорту гарбуза НуО Cup для гарячих напоїв (виробник – дизайнерська студія Stème, Нью-Йорк, Сполучені Штати Америки); 5 – Стаканчик із вафельного тіста й покриттям із шоколадної глазури для кави Yummy Cup 90 (виробник ТОВ «Лекорна», Україна, Богодухів); 6 – Стаканчик із вафельного тіста без покриття для гарячих напоїв Cupffee (виробник – компанія Cupffee, Болгарія, Пловдив); 7 – Стаканчик желевий на основі агару для холодних напоїв Jelloware (виробник – компанія Lolyware, Нью-Йорк, Сполучені Штати Америки); 8 – Чашка з пісочного тіста з покриттям з айсінгу для гарячих напоїв Cookie Cup (від дизайнера Enrique Luis Sardi, Італія); 9 – Стаканчик одноразовий зі спіненого крохмалю з покриттям із водних дисперсій полімерних речовин для гарячих напоїв (виробник – компанія Green Olive Environmental Protection Technology Co, Ltd, Дунгуань, Китай); 10 – Стакан багаторазовий

з використанням кавових жмивів і дерев'яної тирси Weducer (виробник – компанія Kaffeeform, Німеччина, Берлін); 11 – Стакан багаторазовий із використанням кавового лушпиння HuskeeCup (Виробник – Huskee, Австралія); 12 – Стакан багаторазовий із бджолиного воску ручного виготовлення для холодних напоїв та їх замінників, що подаються холодними й гарячими.

Також є розробка технології одержання стаканчиків з біопластику на основі відпрацьованої кавової гущі з використанням натуральних зв'язувальних харчових компонентів. Аналіз складу цього продукту [90] свідчить про багатий потенціал для виробництва біопластиків.

Основними компонентами відпрацьованої кавової гущі є екстрактивні речовини – 54%, в тому числі ліпофільні фракції – 24% (понад 60% з яких – це вільні жирні кислоти), спирто- й водорозчинні сполуки – 5%, сполуки, розчинні в 1% NaOH – 26%. Лігнін і полісахариди складають 20–26%, загальні поліфеноли – менше ніж 6%. Розробки по додаванню вартості відпрацьованої кавової гущі набрали обертів із початку XXI століття завдяки всесвітньому поширенню серед населення розуміння екологічних проблем, викликаних цими побічними продуктами.

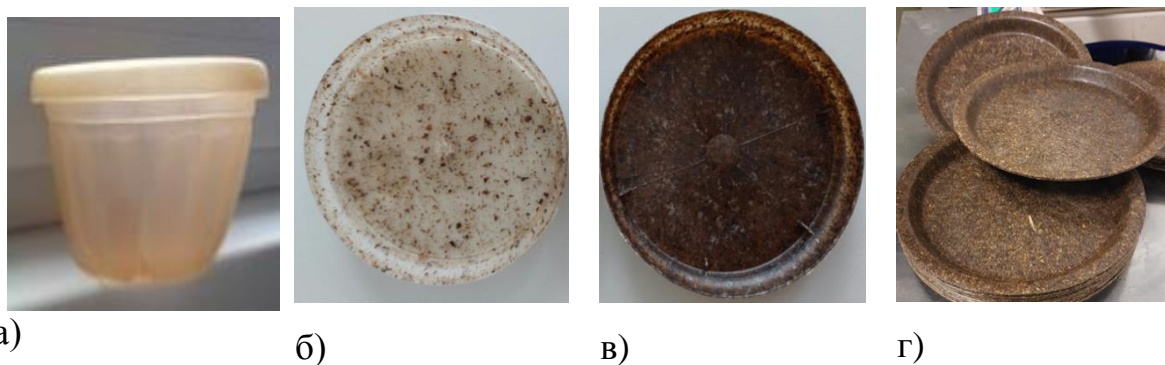
Області застосування, пропоновані й реалізовані натеper у світовій практиці для рентабельного перероблення цього побічного продукту, досить різноманітні [95,98], включаючи виробництво компосту й біогумусу, композиційних біо-пластиків для пакування, багаторазовий стакан Weducer), використання адсорбентів, виробництво твердого, рідкого й газо-подібного біопалива, вилучення цінних біологічно активних сполук, виробництво косметичних засобів (скрабів) та інші. В Україні, на жаль, подібні технології практично відсутні.

Тому в роботі розроблено нова полімерна композиція на основі термопластичного крохмалю та дробини, яка є відходами пивоваріння, для одержання одноразового посуду.

Таким чином вирішується питання утилізації сільськогосподарських відходів з метою отримання продукції з новими властивостями, які є безпечними для навколишнього середовища та біологічно розкладаються.

Термопластичний крохмаль переробляється в композиціях з полікапролактамом, полімолочною кислотою (PLA) та полівініловим спиртом [54]. Полівініловий спирт – це водорозчинний та повністю розкладний полімерний термопласт. Введення полівінілового спирту до полімерної композиції на основі крохмалю та дробини покращує термічні та механічні властивості матеріалу і таким чином модифікує структуру полімеру як на молекулярному, так і на морфологічному рівні [92]. Як пластифікатор використовується гліцерин, а як целюлозний наповнювач – дробина, яка є відходами пивоваріння.

На рис. 4.2. наведено біорозкладні вироби з композиції на основі термопластичного крохмалю (а), з додаванням дробини 10% (б) та 50% (в) методом лиття під тиском та одноразові тарілки з вмістом дробини 70-80 % методом пресування.



**Рис. 4.2.** Біорозкладні вироби, на основі термопластичного крохмалю а); б), в) еко-посуд з додаванням рослинних наповнювачів 10% та 50 %; г) одноразові тарілки з вмістом дробини 70-80 %.

Отримані зразки одноразового посуду мають рівномірний розподіл частинок в матриці, забезпечують достатню міцність на розрив і подовження при розтягуванні. В результаті проведених досліджень розроблено рецептурний склад і підібрано технологію переробки полімерної композиції на основі термопластичного крохмалю, визначено

температури переробки композицій, які становлять 105-145 °С. Одержані експериментальні дані відкривають перспективи для подальших досліджень щодо покращення властивостей цих біорозкладних композицій на основі крохмалю та дробини шляхом модифікації крохмалю, пошуку як органічних, так і неорганічних наповнювачів та умов переробки.

Одним із перспективних шляхів розв'язання проблем негативного впливу полімерного одноразового посуду на навколишнє середовище й здоров'я людини, є розроблення технологій екологічно безпечних біопластиків як основи такого виду посуду.

#### **4.3. Інтегровані методи управління відходами полімерів**

Проблема накопичення і захоронення відходів є не вирішеною у багатьох країнах світу, зокрема й в Україні [98-100]. Основними технологіями управління полімерними відходами в нашій країні залишаються захоронення на полігонах і сміттєспалювання, а про перероблення відходів взагалі не йдеться. Завантаженість потужностей українських підприємств-переробників вторсировини складає 35 % порівняно з 95 % в Європі. Наразі в Україні ринок відходів полімерів фактично монополізовано державними підприємствами, які не виконують свої функції та зобов'язання щодо утилізації.

Лідерами з перероблення та вторинного використання відходів полімерів є Німеччина (переробляється більше 70 % відходів), Нідерланди (65 %). Австрія (60 %). Розв'язання цієї проблеми у Німеччині виглядає так: обов'язковий збір, сортування та утилізація використаної тари й пакувань, обов'язкова сплата послуг усіма суб'єктами за збір й перероблення полімерних відходів (пакувань): високий рівень технології та утилізації. Якщо продукція не виробляється в Німеччині, то плату за ліцензію сплачує компанія, яка завозить продукцію. Тому, коли в Україну у великих обсягах завозять тару, пакувальні матеріали та продукцію в

упаковці, то іноземний виробник має подвійну користь. По-перше, він не сплачує за послуги з утилізації у своїй країні, що досягає' великих розмірів. По-друге, він не сплачує кошти за утилізацію і в нашій країні. Швидкий розвиток полімерної індустрії, прагнення виробників виготовляти конкурентоспроможну продукцію в сучасних упаковках, масовий ввіз упакованої продукції і таропакувальних матеріалів із-за кордону, відсутність в Україні єдиного, комплексного відпрацьованого механізму збирання, утилізації та переробки використаних таропакувальних матеріалів створюють загрозу для екологічної безпеки нашої держави.

Обґрунтовано інтегровані методи управління відходами полімерних матеріалів. Проблема у сфері управління відходами пакувальних матеріалів потребує нових, інтегрованих методів управління. В цьому сенсі інтеграція означає організаційне поєднання технологічно пов'язаних між собою різномірних видів діяльності з притаманними їм функціями. Тому, щоб створити свій ефективний і системний механізм управління, необхідно адаптувати інтеграційні процеси до місцевих умов.

Отже, за виконання всіх заходів, що мають на меті попередження виникнення відходів, несуть відповідальність всі учасники "товарно-виробничого ланцюга". В Україні пропонується впровадити модель розширеної відповідальності виробника полімерних виробів, яка ґрунтується на таких положеннях: виробник несе відповідальність за перероблення та утилізацію своєї продукції та упаковки; виробники / імпортери виконують свої зобов'язання самостійно або колективно (передавши свої зобов'язання уповноваженим організаціям); виконання норм перероблення та утилізації, що зростають, контролюється державою; уповноважена організація за кошти виробників забезпечує від їх імені виконання норм перероблення / утилізації, що включає, але не обмежується оздільним збиранням, транспортуванням, сортуванням та переробленням утилізацією полімерних відходів, інформаційною компанією для населення; підтримується бізнесом.

## Висновки

Методи зменшення кількості полімерних відходів

Є кілька напрямів зменшення надмірного впливу використаних полімерів на довкілля.

Перший напрям – використання екологічних пакувальних матеріалів: паперу, картону, біополімерів, скла. На початку XXI ст. вчені все ж таки знайшло можливість понизити витрати на виробництво біополімерів. Незабаром вартість їхнього виробництва буде не вища, ніж звичайних полімерів. Доречно зауважити, що деякі фахівці вважають, що ціна на розкладальний мікроорганізмами полімер штучно завищується комерційними виробниками. Отже, світова полімерна індустрія стоїть на порозі активного використання біополімерів для виготовлення одноразових виробів.

Другий шлях – використання полімерних відходів як вторинної сировини. Світовий досвід показує, що тільки 10 % від усієї маси відходів полімерних виробів можна використати ще раз, бо їхні властивості стають суттєво гіршими. Вони мають помітну кількість шкідливих сполук і можуть використовуватися тільки для виготовлення каналізаційних труб, полімерного шиферу тощо. Але такий крок може бути чи не єдиним, коли йдеться про відходи багат шарових комбінованих пакувальних матеріалів. У розвинених країнах останнім часом поширилися технології одержання полімерних композиційних матеріалів, наповнювачами яких є відходи з деревини і паперу, а зв'язувальною речовиною відходи полімерів. Такі матеріали використовують як оздоблювальні, облицювальні і конструкційні в автомобілебудуванні, промисловості будівельних матеріалів, а також для виготовлення деталей жорсткої гари і піддонів. При цьому механічні, фізичні, естетичні та експлуатаційні показники таких композиційних матеріалів не тільки не знижуються, але в деяких випадках покращуються.

Третій шлях – використання упаковок багаторазового користування. На жаль, в Україні дуже мала кількість пунктів приймання використаної тари.

Важливою є соціальна складова проблеми управління полімерними відходами. Це введення державної програми виховання населення і окремих освітніх програм виховання молоді в навчальних закладах. Гостроту проблеми утилізації полімерних відходів для харчової продукції в Україні пов'язано ще з недостатньою екологічною свідомістю населення. До того ж в Україні не врегульовано законодавство щодо відходів. У всіх країнах розвинених західних країн люди добровільно виконують функції сортувальників сміття, маючи на кухні декілька полімерних пакетів різного кольору, в один з яких кладуть скляні пляшки, у другий – металеві, у третій – полімерні вироби, у четвертий - папір та картон. Отже, усе розділене йде на перероблення. Але у світі є багато прикладів, коли державні структури, промислові, комерційні та приватні фірми давно створили, а населення сприйняло комплексні системи управління побутовими відходами. Світовий досвід визначив оптимальну структуру витрат для вирішення проблеми відходів. Необхідно витратити 70 % усіх коштів, щоб населення зрозуміло, відчуло та сприйняло проблему управління відходами. Це планомірна кропітка роз'яснювальна робота серед усіх верств населення впродовж тривалого часу. 20 % витрат повинні піти на створення в країні зрозумілої для населення і вигідної для комерційних структур комплексної системи управління відходами. І тільки 10 % витрат потрібно, щоб вирішити технічні питання переробки відходів. Проблема виховання екологічної відповідальності є важливою складовою виховного процесу. Доцільно виховувати в молоді екологічну відповідальність у навчальних закладах під час викладання матеріалознавства – дисципліни, яка вивчає властивості матеріалів, їхній вплив і місце в навколишньому середовищі. Тому, студент знатиме не тільки матеріали, які він буде використовувати у своїй роботі як фахівець,

але й те, що з ними треба робити далі, після їхнього використання, щоб не забруднювати довкілля. Така екологічна свідомість і обізнаність фахівця буде добрим внеском у виховання його громадянської зрілості.

Четвертий шлях – заборона використання одноразових полімерних виробів (посуду та пакетів). Франція, Грузія та інші країни вже не використовують пакети.

Підтвердженням цих радикальних кроків є інформація, що Європейський парламент 24 жовтня 2018 р., проголосував за повну заборону пластикового посуду та інших одноразових предметів з пластику на території всього Євросоюзу. Ці предмети заборонені в ЄС з 2021 року. Про це повідомляє BBC News.

Крім одноразових столових приладів і пакетів, на території ЄС заборонять ватні тампони, ватяні палички, трубочки-соломинки для пиття, пластикові мішалки для коктейлів і палички для повітряних куль.

Інші пластикові вироби, від яких не так просто відмовитися, такі як пляшки для напоїв, одноразові коробки для бургерів, харчові контейнери для фруктів, овочів, десертів або морозива, необхідно буде збирати окремо і переробляти в обсязі 90 % до 2025 року. До 2025 року їх використання має бути знижено на 25 %.

Крім того, на 50 % до 2025 р. і на 80 % до 2030 р. повинно бути знижене використання сигаретних фільтрів з вмістом пластику. Вчені підраховали, що один недопалок може забруднювати від 500 до 1000 літрів води, на його розкладання потрібно до 12 років. Це друге джерело забруднення довкілля після пластикового посуду.

Також Європарламент підтримав пропозицію Єврокомісії зобов'язати виробників пластикових риболовних снастей і тютюнові компанії покривати видатки на утилізацію своєї продукції, а виробників гігієнічних прокладок, вологих серветок і повітряних кульок – вказувати на етикетці термін розкладання продукту. У січні цього року Євросоюз ухвалив першу спільну стратегію з переробки пластику. Вона передбачає, що вся

пластикова упаковка в ЄС до 2030 р. має перероблятися, споживання одноразових пластмас буде скорочено, а використання мікропластиків – обмежено. Єврокомісія запропонувала обмежити використання десяти найменувань пластикових виробів одноразового використання, які забруднюють пляжі Європи та її моря.

Заборона на одноразові пластикові вироби має сприяти вирішенню проблеми забруднення Світового океану. На пластик припадає 80 % всього сміття в Світовому океані, тому до 2050 р. в океані буде більше пластику, ніж риби. Експерти підраховали: за 65 років людство виробило 8 мільярдів тон пластику. Більша частина пластикові пакети. Одна людина використовує біля 500 пакетів / рік. Щорічно європейці генерують 25 млн. тон пластикових відходів, з яких менше 30 % йде на перероблення.

За виконання всіх заходів, що мають на меті попередження виникнення відходів, несуть відповідальність всі учасники “товарно-виробничого ланцюга”. Найбільш сприятлива для України у вирішенні даної проблеми є модель розширеної відповідальності виробника.

Запропоновано класифікацію відходів для побудови ефективної інтегрованої системи управління полімерних відходів, яка дасть змогу узагальнити інформацію про полімери.

Оскільки екологічні проблеми ОМ пов’язані з їх надмірною кількістю і неналежною якістю, то необхідно забезпечити мінімізацію кількості використаного матеріалу та кількості видів матеріалів. Запропоновано підході: зменшення кількості полімерних відходів: використання екологічних полімерних матеріалів: використання полімерних відходів як вторинної сировини; використання полімерних виробів багаторазового користування; заборона використання одноразових полімерних виробів (пакетів та посуду).

### Список використаної літератури

1. Стан сфери поводження з побутовими відходами в Україні за 2021 рік. URL: <https://www.minregion.gov.ua/napryamkidiyalnosti/zkh/terretory/stansfery-povodzhennya-zpobutovymy-vidhodamy-v-ukrayini-za-2021-rik/> (дата звернення: 15.10.2023)
2. Аналітична довідка. “Ринок поводження з побутовими відходами”. URL: <http://surl.li/hzrea> (дата звернення: 15.10.2023)
3. Належне поводження з твердими побутовими відходами. Подільська районна державна адміністрація. Офіційний веб-сайт. <https://podilskrda.od.gov.ua/nalezhne-povodzhennya-z-tverdymy-pobutovymy-vidhodamy/> (дата звернення: 15.11.2023)
4. Про схвалення Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року. Кабінет Міністрів України. Розпорядження від 8 листопада 2017 р. № 820-р Київ. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-%D1%80#Text> (дата звернення: 15.05.2023)
5. Mykhailenko V., Safranov T. Estimation of Input of Unintentionally Produced Persistent Organic Pollutants into the Air Basin of the Odessa Industrial-andUrban Agglomeration. Journal of Ecological Engineering. 2021; 22(9): 21–31. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/141479>
6. Михайленко В. І., Сафранов, Т. А. Аналіз обсягів та джерел утворення відходів, які містять стійкі органічні поллютанти, на території Одеської 51 області. Людина та довкілля. Проблеми неоекології. 2021; 36: 83-95. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2021-36-07>
7. Тверді побутові відходи в Україні: потенціал розвитку. Сценарії розвитку галузі поводження з твердими побутовими відходами. URL: <http://surl.li/bapl> (дата звернення: 15.11.2023)
8. Сьогодні: економічні новини. URL: <https://economics.segodnya.ua/ua/economics/enews/dohody-ukrainy-estpovod-dlya-optimizma-no-nadolgo-li-1135243.html> (дата звернення: 15.11.2023)

9. Національна стратегія управління відходами в Україні до 2030 року. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-%D1%80#n8> (дата звернення: 15.11.2023)
10. Про схвалення Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року. Кабінет Міністрів України. Розпорядження від 8 листопада 2017 р. № 820-р, Київ. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-%D1%80#Text> (дата звернення: 15.11.2023)
11. ЗУ «Про відходи». Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1998, № 36- 37, ст.242. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/187/98-%D0%B2%D1%80#Tex> (дата звернення: 25.11.2023)
12. Закон України «Про управління відходами». Відомості Верховної Ради України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20#Text> (дата звернення: 25.11.2023)
13. Extended Producer Responsibility Alliance. URL: AboutEXPRA. URL: [http://conference.chamber.ua/assets/files/main\\_rbb\\_expra.pdf](http://conference.chamber.ua/assets/files/main_rbb_expra.pdf) (дата звернення: 25.11.2023)
14. Про обмеження обігу пластикових пакетів на території України. Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2021, № 31, ст.252. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1489-20#Text> (дата звернення: 25.11.2023)
15. Про встановлення мінімальних роздрібних цін на пластикові пакети. ЗУ від 20 грудня 2021 р. № 1387. Київ. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1387-2021-%D0%BF#Text> (дата звернення: 25.11.2023)
16. Поводження з відходами, Львів. URL: <https://7promeniv.com.ua/vidkhody/vtorresursy/2424-povodzhennia-zvidkhodamy-buklet.html> (дата звернення: 25.11.2023)
17. Ієрархія поведження з відходами. Що це таке і як впровадити в Україні? URL: <http://epl.org.ua/wp-content/uploads/2019/09/Iyerarhiya->

[povodzhennyaz-vidhodamy.-SHHo-tse-take-i-yak-vprovadyty-v-Ukrayini.pdf](#)

(дата звернення: 25.11.2023)

18. Про затвердження Методичних рекомендацій з організації роздільного збирання твердих побутових відходів. URL:

<https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0242662-08#Text> (дата звернення: 25.11.2023)

19. Управління та поводження з відходами: Підручник/Т.П. Шаніна, О.Р. Губанова, М.О. Клименко, Т.А. Сафранов, В.Ю. Коріневська, О.О. Бедункова, А.І. Волков. За ред. Т.А.Сафранова, М.О. Клименка, - Одеса, 2011. 258 с.

20. Plastic in facts. URL: <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-facts-2022/> (дата звернення: 25.11.2023)

21. R. Geyer, J.R. Jambeck, K.L. Law. Production, use, and fate of all plastics ever made Sci. Adv., 3 (2017), Article e1700782. 10.1126/sciadv.1700782

22. PlasticsEurope., Plastics – the facts 2018: an analysis of European plastics production, demand and waste data. www.plasticseurope.org (2018)

23. R. Geyer, J.R. Jambeck, K.L. Law. Production, use, and fate of all plastics ever made Sci. Adv., 3 (2017), Article e1700782. 10.1126/sciadv.1700782.

24. J. R. Jambeck, R. Geyer, C. Wilcox, T. R. Siegler, M. Perryman, A. Andrady, R. Narayan, K. L. Law, Plastic waste inputs from land into the ocean. Science 347, 768–771 (2015)

25. D. Hoornweg, P. Bhada-Tata, C. Kennedy, Environment: Waste production must peak this century. Nature 502, 615–617 (2013). URL: <https://www.nature.com/articles/502615a> (дата звернення: 25.11.2023)

26. D. K. A. Barnes, F. Galgani, R. C. Thompson, M. Barlaz, Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. Philos. Trans. R. Soc. B 364, 1985–1998 (2009).

27. Plastics - the Facts 2022 - an Analysis of European Plastics Production, Demand and Waste Data. [https://plasticseurope.org/wp-content/uploads/2022/10/PEPLASTICS-THE-FACTS\\_V7-Tue\\_19-10-1.pdf](https://plasticseurope.org/wp-content/uploads/2022/10/PEPLASTICS-THE-FACTS_V7-Tue_19-10-1.pdf)

28. N. Delangiz, S. Aliyar, N. Pashapoor, K. Nobaharan, B. Asgari Lajayer, S. Rodríguez-Couto. Can polymer-degrading microorganisms solve the bottleneck of plastics' environmental challenges? *Chemosphere*, 294 (2022), <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.133709>
29. PlasticsEurope (2021). *Plastics - the Facts 2021 - an Analysis of European Plastics Production, Demand and Waste Data*. URL: <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-facts-2021/> (дата звернення: 25.11.2023)
30. Safranov T. A., Berlinskyi, M. A., & Zmienko, D. M. (2020). Plastic from solid household waste in the coastal zone of the northwestern Black Sea coast as a component of marine litter. *Bulletin of Kharkiv National University named after V. N. Karazin, series "Ecology"*, (23), 57-66. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2020-23-06>
31. Є. О. Михайлова. Пластикове забруднення – одна з головних екологічних проблем людства. URL: [http://repository.hneu.edu.ua/bitstream/123456789/25028/1/%D0%9C%D0%B8%D1%85%D0%B0%D0%B9%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D0%B0%20%D0%84.%D0%9E.\\_%D0%9F%D0%BB%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%B5%20%D0%B7%D0%B0%D0%B1%D1%80%D1%83%D0%B4%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F%20%E2%80%93.pdf](http://repository.hneu.edu.ua/bitstream/123456789/25028/1/%D0%9C%D0%B8%D1%85%D0%B0%D0%B9%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D0%B0%20%D0%84.%D0%9E._%D0%9F%D0%BB%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%B5%20%D0%B7%D0%B0%D0%B1%D1%80%D1%83%D0%B4%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F%20%E2%80%93.pdf) (дата звернення: 25.11.2023)
32. Який буває пластик і як його правильно сортувати? Великий мануал. URL: <https://34home.com.ua/post/plastic-guide> (дата звернення: 25.11.2023)
33. Palace и Adidas створили кросівки з пластику. URL: <https://donttakefake.com/palace-i-adidas-sozdali-krossovki-izpererabotannogo-plastika/> (дата звернення: 25.11.2023)
34. What to Know About Nike's Stance on Tackling Climate Change. URL: <https://about.nike.com/en/newsroom/releases/nike-move-to-zero-climatechange-initiative> (дата звернення: 25.11.2023)

35. Safranov T. A., Berlinskyi, M. A., & Zmienko, D. M. (2020). Plastic from solid household waste in the coastal zone of the northwestern Black Sea coast as a component of marine litter. *Bulletin of Kharkiv National University named after V. N. Karazin, series "Ecology"*, (23), 57-66. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2020-23-06>
36. Переробка макулатури в Україні. Регіон 2001. URL: <http://region2001.com.ua/services/pererobka-vtorsirovini/makulatura> (дата звернення: 25.11.2023)
37. Управління відходами металів за воєнного стану. UIFuture. URL: <https://uifuture.org/publications/upravlinnya-vidhodamy-metaliv-zavoyennogo-stanu/> (дата звернення: 25.11.2023)
38. Виробничо-екологічне об'єднання «Укрвторма». URL: <http://ukrvtorma.com.ua/> (дата звернення: 25.11.2023)
39. Letcher T.M. *Plastic Waste and Recycling: Environmental Impact, Societal Issues, Prevention, and Solutions* / edited by T.M. Letcher. 1st Edition. Publisher : Academic Press, 2020. 686 p.
40. When the mermaids cry: the great plastic tide. Coastal Care : website. URL: <https://coastalcare.org/2020/01/plastic-pollution-when-the-mermaids-cry-the-great-plastic-tide-by-claire-le-guern/> (дата звернення: 14.11.2023).
41. Rodrigues M.O. et al. Impacts of plastic products used in daily life on the environment and human health: What is known? / M.O. Rodrigues, N. Abrantes, F.J.M. Gonçalves, H. Nogueira, J.C. Marques, A.M.M. Gonçalves. *Environmental Toxicology and Pharmacology*. 2019. Vol. 72.19 p.
42. Filho W.L. et al. Plastic debris on Pacific Islands: Ecological and health implications / W.L. Filho, P.H. Havea, A.-L. Balogun, J. Boenecke, A.A. Maharaj, M. Ha'apio, S.L. Hemstock. *Science of the Total Environment*. 2019. Vol. 670. P. 181–187.
43. Zabihzadeh Khajavi M. et al. Strategies for controlling release of plastic compounds into foodstuffs based on application of nanoparticles and its potential health issues / M. Zabihzadeh Khajavi, R. Mohammadi, S. Ahmadi, M.

- Farhoodi, M. Yousefi. Trends in Food Science & Technology. 2019. Vol. 90. P. 1–12.
44. Disposable Cups – Global Market Outlook (2018–2027). Businesswire : website. URL: <https://www.businesswire.com/news/home/20190926005495/en/Global-Disposable-Cups-Market-Reach-27.75-Billion> (дата звернення: 14.10.2023)
45. Аналіз тенденцій розвитку ринку паперових стаканів України. Pro-consulting : вебсайт. URL: <https://pro-consulting.ua/ua/pressroom/analiz-tendencij-razvitiya-rynka-bumazhnyh-stakanov-ukrainy> (дата звернення: 14.10.2023)
46. Foteinis S. How small daily choices play a huge role in climate change: The disposable paper cup environmental bane. Journal of Cleaner Production. 2020. Vol. 255. P. 120–294.
47. Ragaert K., Delva L., Van Geem K. Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste. Waste Management. 2017. Vol. 69. P. 24–58.
48. Solis M., Silveira S. Technologies for chemical recycling of household plastics. A technical review and TRL assessment. Waste Management. 2020. Vol. 105. P. 128–138.
49. Niaounakis M. Recycling of Flexible Plastic Packaging. 1st Edition. Publisher : William Andrew, 2019. 466 p.
50. Mitchell J. Recycling disposable cups into paper plastic composites / J. Mitchell, L. Vandeperre, R. Dvorak, E. Kosior. K. Tarverdi, C. Cheeseman. Waste Management. 2014. Vol. 34. P. 2113–2119.
51. Nagarajan K., Balaji A., Thanga Kasi Rajan S., Ramanujam N. Preparation of bio-eco based cellulose nanomaterials from used disposal paper cups through citric acid hydrolysis. Carbohydrate Polymers. 2020. Vol. 235.
52. Shaocun L., Qingping L., Chenhao Zh. Hierarchical porous carbon/selenium composites derived from abandoned paper cup as Li-Se battery cathodes. Solid State Sciences. 2018. Vol. 84. P. 15–22.

53. Karan H. et al. Green Bioplastics as Part of a Circular Bioeconomy. *Trends in Plant Science*. 2019. Vol. 24. P. 237–249.
54. Ramesh Kumar S., Shaiju P., O'Connor K.E., Babup R. Bio-based and biodegradable polymers. State-of-the-art, challenges and emerging trends. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*. 2020. Vol. 21. P. 75–81.
55. Shrivastava A. *Introduction to Plastics Engineering*. Publisher : Cambridge, MA : William Andrew, 2018. 262 p.
56. Pujol D. et al. The chemical composition of exhausted coffee waste. *Industrial Crops and Products*. 2013. Vol. 50. P. 423–429.
57. Pan Zh., Zhang R., Zicari S. *Integrated Processing Technologies for Food and Agricultural By-Products*. 1st Edition. Publisher : Academic Press, 2019. 452 p.
58. McNutt J., (Sophia) He Q. Spent coffee grounds: A review on current utilization. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. 2019. Vol. 71. P. 78–88.
59. Cervera-Mata A. et al. Phytotoxicity and chelating capacity of spent coffee grounds : Two contrasting faces in its use as soil organic amendment. *Science of The Total Environment*. 2020. Vol. 717.
60. Mendeset J.F. Development and physical-chemical properties of pectin film reinforced with spent coffee grounds by continuous casting. *Carbohydrate Polymers*. 2019. Vol. 210. P. 92–99.
61. Batista M.J.P.A., Ávila A.F., Franca A.S., Oliveira L.S. Polysaccharide-rich fraction of spent coffee grounds as promising biomaterial for films fabrication. *Carbohydrate Polymers*. 2020. Vol. 233.
62. Blinová L., Bartošová A., Sirotiak M. Biodiesel Production from Spent Coffee Grounds. *Research Papers Faculty of Materials Science and Technology Slovak University of Technology*. 2017. Vol. 25. P. 113–121.
63. Spent coffee grounds to fuel company. Bio-bean : website. URL: <https://www.bio-bean.com> (дата звернення: 20.11.2023).

64. Ramón-Gonçalves M. et al. Extraction, identification and quantification of polyphenols from spent coffee grounds by chromatographic methods and chemometric analyses. *Waste Management*. 2019. Vol. 96. P. 15–24.
65. Mota D.A. et al. Production of low-calorie structured lipids from spent coffee grounds or olive pomace crude oils catalyzed by immobilized lipase in magnetic nanoparticles. *Bioresource Technology*. 2020. Vol. 307.
66. Jian Zhanga. Mechanical fatigue of biodegradable polymers: A study on polylactic acid (PLA), polybutylene succinate (PBS) and polybutylene adipate terephthalate (PBAT) [Електронний ресурс] / Jian Zhanga, Valerian Hirschbergb, Denis Rodriguea // *International Journal of Fatigue* Volume 159, June 2022, 106798. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2022.106798> .
67. Marius Stelian P. Polyhydroxybutyrate blends: A solution for biodegradable packaging? [Електронний ресурс] / P. Marius Stelian, F. Adriana Nicoleta, P. Denis Mihaela // *International Journal of Biological Macromolecules*. 267 Volume 207, 15 May 2022, Pages 263-277. – 2022. – Режим доступу до ресурсу: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.02.185>
68. Hu Chengcheng. Life Cycle Eco-design of Biodegradable Packaging Material [Електронний ресурс] / Hu Chengcheng // *Procedia CIRP* Volume 105, 2022, Pages 678-681. – 2022. – Режим доступу до ресурсу: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.02.113>
69. Hao Cheng. Starch-based biodegradable packaging materials: A review of their preparation, characterization and diverse applications in the food industry [Електронний ресурс] / Hao Cheng, David Julian McClements // *Trends in Food Science & Technology* Volume 114, August 2021, Pages 70-82. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.05.017>.
70. Chiellini, E.; Chiellini, F.; Cinelli, P.; Piieva, V. Полімерні матеріали на біологічній основі для застосування в сільському господарстві. Біорозкладні полімери та пластмаси; К'елліні, Е., Соларо, Р., ред.; Kluwer Academic/Plenum Publishers: Нью-Йорк, США, 2003; с. 185-220.

71. Mazollier, C.; Taullet, A. Біорозкладні мульчі та шпагати: альтернатива для органічного ринкового садівництва. Альтер. Сільське господарство України, 2003, 59, 10-13
72. Штайнер, П.Р. Геотекстиль на біологічній основі, що біологічно розкладається Оновлення досліджень лісової служби USDA. Матеріали 2-го симпозіуму Тихоокеанського регіону з біологічних композитів, 6-9 листопада 1994 року; Університет Британської Колумбії: Ванкувер, Канада, 1994; с. 204-212.
73. Chandra, R.; Rustgi, R. Biodegradable polymers. *Progr. Polym. Sci.* 1998, 23, 1273-1335.
74. Asrar, Gruys, K.J. Biodegradable polymers (Biopol). In *Biopolymers*, vol 4. Polyesters III. Application and commercial products; Doi, Y., Steinbüchel, A., Eds.; Wiley-VCH: Weinheim, Germany, 2002; pp. 53-81.
75. Микулонок І. О. Обладнання та процеси переробки термопластичних матеріалів з використанням вторинної сировини: монографія. Київ: Видавничий дім "Політехніка", 2009. 265 с
76. Мікулонок І. О., Радченко Л. Б. Моделювання дискових екструдерів для переробки полімерних матеріалів: монографія. Київ: НТУУ "КПІ", 2015. 104 с.
77. Микулонок І. О. Технологічні основи переробки полімерних матеріалів: підручник. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Видавничо-поліграфічний центр "Політехніка", 2017. 324 с
78. Сівецький В. І., Радченко Л. Б. Основи моделювання і конструювання черв'ячних екструдерів: монографія. Київ: ІВЦ „Видавництво «Політехніка»”, 2002. 152 с
79. Schneider, K. Der Fördervorgang in der Einzugszone eines Extruders. Ph.D. Thesis, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Aachen, Germany, October 1968.

80. Tadmor, Z.; Klein, I. *Engineering Principles of Plasticating Extrusion*; Van Nostrand Reinhold, Co.: New York, NY, USA, 1970; ISBN 978-0442156350.
81. Tadmor, Z.; Broyer, E. Solids Conveying in Screw Extruders—Part I: A Modified Isothermal Model. *Polym. Eng. Sci.* 1972, *12*, 12–24.
82. Tadmor, Z.; Broyer, E. Solids Conveying in Screw Extruders—Part II: A Modified Non-Isothermal Model. *Polym. Eng. Sci.* 1972, *12*, 376–378.
83. Campbell, G.A.; Dontula, N. Solids Transport in Extruders. *Int. Polym. Proc.* 1995, *10*, 30–35.
84. Hyun, K.S.; Spalding, M.A.; Hinton, C.E. Theoretical and Experimental Analysis of Solids Conveying in Single-Screw Extruders. *J. Reinf. Plast. Compos.* 1997, *16*, 1210–1219.
85. Moysey, P.A.; Thompson, M.R. Investigation of Solids Transport in a Single-Screw Extruder Using a 3-Discrete Particle Simulation. *Polym. Eng. Sci.* 2004, *44*, 2203–2215.
86. Moysey, P.A.; Thompson, M.R. Modelling the Solids Inflow and Solids Conveying of Single-Screw Extruders Using the Discrete Element Method. *Powder Technol.* 2005, *153*, 95–107.
87. Moysey, P.A.; Thompson, M.R. Determining the Collision Properties of Semi-Crystalline and Amorphous Thermoplastics for DEM Simulations of Solids Transport in an Extruder. *Chem. Eng. Sci.* 2007, *62*, 3699–3709.
88. Leßmann, J.-S.; Weddige, R.; Schöppner, V.; Porsch, A. Modelling the Solids Throughput of Single Screw Smooth Barrel Extruders as a Function of the Feed Section Parameters. *Int. Polym. Proc.* 2012, *27*, 469–477.
89. Trippe, J.; Schöppner, V. Modeling of Solid Conveying Pressure Throughput Behavior of Single Screw Smooth Barrel Extruders under Consideration of Backpressure and High Screw Speeds. *Int. Polym. Process.* 2018, *33*, 486–496.
90. Maddock, B.H. A Visual Analysis of Flow and Mixing in Extruder Screws. *SPE ANTEC Tech. Papers* 1959, *15*, 383.

91. Street, L.F. Plastifying Extrusion. *Intern. Plast. Eng.* 1961, 1, 289–296
92. Wilczyński, K.; Lewandowski, A.; Wilczyński, K.J. Experimental Study for Starve-Fed Single Screw Extrusion of Thermoplastics. *Polym. Eng. Sci.* 2012, 52, 1258–1270.
93. Tadmor, Z. Fundamentals of Plasticating Extrusion. I. A Theoretical Model for Melting. *Polym. Eng. Sci.* 1966, 6, 185–190.
94. Marshall, D.I.; Klein, I. Fundamentals of Plasticating Extrusion. II. Experiments. *Polym. Eng. Sci.* 1966, 6, 191–197.
95. Tadmor, Z.; Duvdevani, I.J.; Klein, I. Melting in Plasticating Extruders Theory and Experiments. *Polym. Eng. Sci.* 1967, 7, 198–217.
96. Tadmor, Z.; Klein, I. *Computer Programs for Plastic Engineers*; Reinhold Book Corporation: New York, NY, USA, 1968.
97. Zhou X, Zhang Y, Mao T, Ruan Y, Gao H, Zhou H. Feature extraction and physical interpretation of melt pressure during injection molding process. 2018.
98. Kamal, M. R., & Kenig, S. (1972). The injection molding of thermoplastics part I: Theoretical model. *Polymer Engineering & Science*, 12(4), 294-301.
99. Feng, G.; Qi, J.B.; Zhang, C.G.; Zhang, Y. Research on Fuzzy-PID Compound Control in Inverter-Driven Energy-Saving Technology for Injection Molding Machine. *Adv. Mater. Res.* 2012, 538–541, 1057–1060.
100. W. Michaeli, S. Hessner and F. Klaiiber, J. *Vac. Sci. Technol. B: Microelectronics and Nanometer Structures*, 2009, 27(3), 1442- 1444, doi: 10.1116/1.3079765.

УКРАЇНА



ПАТЕНТ

НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

№ 153481

СПОСІБ ВИГОТОВЛЕННЯ ПОСУДУ ОДНОРАЗОВОГО  
БІОРОЗКЛАДНОГО ІЗ СУХОЇ ДРОБИНИ ВІДХОДІВ  
ПИВОВАРІННЯ

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі України корисних моделей  
12.07.2023.

В.о. директора  
Державної організації «Український  
національний офіс інтелектуальної  
власності та інновацій»

І.В. Паренчук



(11) **153481**

(19) **UA**

(51) МПК (2023.01)

**A47G 21/00**

**A47G 19/03** (2006.01)

**B27N 1/00**

**B09B 3/32** (2022.01)

**B09B 3/40** (2022.01)

**B09B 101/70** (2022.01)

(21) Номер заявки: **u 2022 05156**

(22) Дата подання заявки: **30.12.2022**

(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: **13.07.2023**

(46) Дата публікації відомостей про державну реєстрацію та номер Бюлетеня: **12.07.2023, Бюл. № 28**

(72) Винахідники:

**Іщенко Олена**

**Володимирівна, UA,**

**Святюк Володимир**

**Данилович, UA,**

**Гейчук Володимир**

**Миколайович, UA,**

**Плаван Вікторія Петрівна,**

**UA,**

**Ляшок Ірина Олександрівна,**

**UA**

(73) Володілець:

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ**

**УНІВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ**

**ТА ДИЗАЙНУ.**

**вул. Немировича-Данченка, 2,**

**м.Київ, 01011, UA**

(54) Назва корисної моделі:

**СПОСІБ ВИГОТОВЛЕННЯ ПОСУДУ ОДНОРАЗОВОГО БІОРОЗКЛАДНОГО ІЗ СУХОЇ ДРОБИНИ ВІДХОДІВ ПИВОВАРІННЯ**

(57) Формула корисної моделі:

1. Спосіб виготовлення посуду одноразового біорозкладного із сухої дробини відходів пивоваріння, в якому як сировину готують суміш з органічних промислових відходів, викладають її у форму, виконують одноразове стискування підготовленої суміші у формі при підвищеній температурі та вивільняють готовий виріб із форми, який **відрізняється** тим, що як сировину готують суміш на основі сухої пивної дробини в кількості 70-80 мас. %, що містить від 15-25 % води, структурно зв'язаної у формі вологи, додають поліетиленовий віск як гідрофобізуючу добавку у кількості 1-3 мас. %, а також кукурудзяний та/або картопляний крохмаль як зв'язуючий компонент - решта до 100 мас. %, перемішують, викладають сировину у форму, яка містить отвори-пори для паровідведення, потім виконують одноразове стискування підготовленої суміші при температурі в межах 130-145 °С та тиску 15-18 МПа.
2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що додатково у суміш додають полівініловий спирт в кількості 5-10 мас. %.
3. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що додатково у суху дробину додають воду до вологості суміші 40-43 %.

(11) 153481

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ Державна організація «Український національний офіс інтелектуальної власності та інновацій» (УКРНОІВІ)	
<p>Цей паперовий документ ідентичний за документарною інформацією та реквізитами електронному документу з електронним підписом уповноваженої особи Державної організації «Український національний офіс інтелектуальної власності та інновацій».</p> <p>Паперовий документ містить 2 арк., які пронумеровані та прошиті металевими люверсами.</p> <p>Для доступу до електронного примірника цього документа з ідентифікатором 0221100723 необхідно:</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Перейти за посиланням <a href="https://sis.ukrpatent.org">https://sis.ukrpatent.org</a>.</li><li>2. Обрати пункт меню Сервіси – Отримати оригінал документу.</li><li>3. Вказати ідентифікатор електронного примірника цього документа та натиснути «Завантажити».</li></ol>	
	
Уповноважена особа УКРНОІВІ	І.Є. Матусевич
12.07.2023	