УДК 21.798 (620.2):658.788.4

О. Ю. РЕЧУН, В.В.ТКАЧУК

Луцький національний технічний університет

**ВИКОРИСТАННЯ БІОРОЗКЛАДНИХ ПОЛІМЕРІВ
ТА АНТИМІКРОБНИХ ПАКУВАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ
У ПАКУВАННІ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ**

О. RECHUN, V. TKACHUK

Lutsk National Technical University

**USE OF BIODEGRADABLE POLYMERS AND ANTIMICROBIAL
PACKAGING MATERIALS IN FOOD PACKAGING**

<https://doi.org/10.36910/6775-2310-5283-2022-15-24>

***Метою** статті є аналіз характеристик полімерів, які підлягають біорозкладу та використовуються в упакуванні харчових продуктів, визначення найперспективніших матеріалів для упаковки харчових продуктів, а також пошук шляхів вирішення проблем, пов'язаних з використанням цього виду пакування.*

***Методика.** Використано методи теоретичного пошуку, системного підходу та логічного узагальнення.*

***Результати.** В статті проаналізовані доступні на сьогодні види пакувальних матеріалів, які піддаються біорозкладу, визначено їх основні переваги та недоліки. Прокласифіковано означені матеріали на основі їх хімічного складу та методів синтезу. Визначено найоптимальніші склади матеріалів для пакування харчових продуктів, а також основні методи покращення їх функціональних властивостей. Особливу увагу приділено матеріалам з антимікробними властивостями, які доцільно використовувати у якості активного пакування харчових продуктів. Таким чином, можна покращити якість упакованого продукту, а також продовжити його термін зберігання. Розглянуто антимікробні пакувальні матеріали на основі крохмалю, полімолочної кислоти та полігідроксибутирату. Означено подальші перспективи досліджень за даною тематикою.*

***Наукова новизна.** Виконано аналіз основних властивостей полімерів, які піддаються біорозкладу, та характеристик антимікробних пакувальних матеріалів на основі цих полімерів, які доцільно використовувати для пакування харчових продуктів.*

***Практична значимість.** В даний час більшість матеріалів для пакування харчових продуктів не піддаються розкладу і створюють серйозні екологічні проблеми. Тому досліджують та розробляють нові технології для вивчення складної взаємодії між пакувальними матеріалами та харчовими продуктами. Використання полімерів, які піддаються біорозкладу, здатне суттєво зменшити кількість пластикових відходів. Окрім*

цього, синтез біополімерів з відновлювальних ресурсів є економічно вигідним, оскільки, здешевлює вартість упакування. Більше того, використання антимікробних матеріалів на основі полімерів, що піддаються біорозкладу, в упакуванні харчових продуктів здатне подовжити термін зберігання останніх, таким чином використання цих матеріалів здатне зберегти якість продукту, а також забезпечити економічну вигоду.

Ключові слова: полімери, що піддаються біорозкладу, антимікробні матеріали, наноккомпозити, пакування, харчові продукти.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими та практичними завданнями. Матеріали на основі пластику часто використовуються в упакуванні, їх можна побачити повсюдно як у розвинених, так і в країнах, що розвиваються. В даний час більшість матеріалів для пакування харчових продуктів не піддаються розкладу і створюють серйозні екологічні проблеми. Тому досліджують та розробляють нові технології для вивчення складної взаємодії між пакувальними матеріалами та харчовими продуктами. Наприклад, наноккомпозит з целюлози представляє собою екологічно чисту упаковку, яка легко переробляється шляхом спалювання і вимагає низького споживання енергії при виробництві. Існує низка таких матеріалів, які доступні за низькою ціною, мають хороші механічні властивості та можуть бути утилізовані в ґрунті. Це вигідно, оскільки під час біологічної деградації утворюється лише вуглекислий газ, вода та неорганічні сполуки. Також було виявлено, що пластмаси, які підлягають біорозкладу, можна утилізувати разом з органічними відходами. Широке використання біополімерів замість стандартних пластмас допомогло б зменшити кількість відходів. Тому матеріали, здатні до біорозкладу, беруть участь у природному циклі «від природи до природи» і відіграють важливу роль у збереженні екології.

Метою досліджень є аналіз характеристик полімерів, які підлягають біорозкладу та використовуються в упакуванні харчових продуктів, визначення найперспективніших матеріалів для упаковки харчових продуктів, а також пошук шляхів вирішення проблем, пов'язаних з використанням цього виду пакування.

Аналіз останніх досліджень, у яких започатковано вирішення проблеми. Оскільки, проблема забруднення навколишнього середовища пластиковими відходами постає дедалі гостріше, чимало науковців проводять дослідження щодо розробки альтернативних матеріалів для пакування. Знайдено численні полімери як природного походження, так і повністю

синтетичні, які здатні до біологічного розкладу з утворенням вуглекислого газу та води [1]. Однак, ці полімери поступаються механічними властивостями широко використовуваним пластикам, тому активно розробляють методи модифікації цих матеріалів, введенням в склад додаткових сполук, змішуванням кількох полімерів. Зокрема, значних успіхів було досягнуто у розробці сумішей крохмалю з іншими полімерами, що суттєво покращує функціональні властивості матеріалу, зберігаючи здатність до біорозкладу. Полімери, які піддаються біорозкладу, можна розглядати не лише як вирішення екологічних проблем, а й в контексті так званого активного пакування, наприклад, вводячи в склад сполуки, що володіють протимікробною активністю та здатні подовжувати термін зберігання харчових продуктів [2, 3]. Увагу також приділяють дослідженням процесів розкладання розроблених полімерів і їх впливу на навколишнє середовище [4].

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. Біополімери можуть бути використані для заміни пластмас, що не піддаються біологічному розкладанню, щоб зменшити вплив на навколишнє середовище та залежність від нафти. Як альтернативні біопакувальні матеріали, біополімери дозволяють пакувальним матеріалам підлягати біорозкладу або бути повністю компостованими. Біодеградація біополімерів включає гідролітичне або ферментативне розщеплення зв'язків у полімері. Біодеградацію часто визначають як процес, що відбувається під дією ферментів та/або хімічних каталізаторів, пов'язаний з живими організмами (бактерії, гриби, тощо). Варто зазначити, що інші процеси, такі як гаряча деградація, окислення та гідроліз, також можуть впливати на структуру та ланцюги полімерів до або під час біодеградації.

Полімери, які підлягають біорозкладу, можна класифікувати на різні типи відповідно до процесів їх синтезу та джерел отримання, які наведені на рис.1. Їх отримують безпосередньо з біомаси (білки та полісахариди), синтетичних біополімерів з біомаси (полімолочна кислота (PLA)) або нафтохімічних речовин (наприклад, полікапролактон (PCL), полігліколева кислота (PGA), полібутиленсукцинаткоадипат (PBSA)) або шляхом мікробної ферментації (наприклад, полігідроксиполілактиди (PHA), полігидроксиполібутират (PHB)).

На даний момент на ринку є кілька типів полімерів, які піддаються біорозкладу. Характеристики найпоширеніших з них детально описані нижче.

Одним із найбільш поширених і відновлюваних полісахаридів у рослинах є крохмаль. Нативний крохмаль складається з двох типів полімерів глюкози, а

саме амілози та амілопектину. У той час як амілоза являє собою ланцюг одиниць D-глюкози, які з'єднані між собою α -1-4 глікозидними зв'язками, амілопектин містить короткі ланцюги з α -1-4 зв'язаних одиниць D-глюкози, які розгалужуються за допомогою α -1-6 глікозидних зв'язків.

Рис.1. Класифікація полімерів, які піддаються біорозкладу

Хоча крохмаль піддається біорозкладу, його можна виробляти у великих кількостях з відносно низькою вартістю, легко обробляти та утворювати плівкові продукти з низькою проникністю для кисню, основна проблема природного крохмалю полягає в тому, що він крихкий і гідрофільний. Це обмежує його застосування для виробництва поліетиленових пакетів та харчової упаковки. Щоб підвищити його гнучкість і полегшити переробку або пластифікацію крохмалю, різні пластифікатори (гліцерин, гліколь, сорбіт) використовуються для перетворення крохмалю в термопластичний крохмаль (TPS) шляхом застосування тепла та зсуву в процесах екструзії.

PLA (полімолочна кислота) – це біологічно розкладний поліестер, отриманий з молочної кислоти під час ферментації відновлюваних культур, таких як цукрові буряки та кукурудза. Цей поліестер привернув увагу, оскільки він легкодоступний і дешевий. Молочна кислота зазвичай синтезується шляхом бактеріального бродіння або синтезу нафтохімічних продуктів. PLA отримують шляхом конденсаційної полімеризації D- або L-молочної кислоти або полімеризації лактидного мономеру з розкриттям кільця молочної кислоти. PLA з низькою молекулярною масою виробляється шляхом прямої поліконденсації молочної кислоти. Однак, високомолекулярний PLA синтезують шляхом полімеризації з розкриттям кільця, і він має кращі механічні властивості. Крім того, високомолекулярний PLA також утворюється шляхом азеотропної конденсаційної полімеризації молочної кислоти.

PLA отримав широке визнання як полімер, що піддається біорозкладу, для пакувальних матеріалів завдяки своїй жорсткості, прозорості, легкості обробки та біосумісності. У порівнянні з іншими біополімерами, такими як PHA, PEG і PCL, PLA краще піддається термічній обробці, що дозволяє використовувати різні методи обробки PLA. Крім того, PLA має середній рівень проникності для води та кисню, який можна порівняти з таким у полістиролу. Однак PLA має низьку стійкість до проникнення кисню, а також є крихким з менш ніж 10% видовженням при розриві. Ці властивості обмежують його застосування, яке вимагає пластичної деформації при більш високих рівнях напружень. Щоб вирішити цю проблему, використовують змішування PLA з глиною та термопластичним крохмалем, що забезпечує отримання матеріалів із покращеною механічною міцністю. Змішування PLA з PHB шляхом змішування в розплаві вважається простим способом поліпшення властивостей PLA. При змішуванні PLA з PHB був покращений кисневий бар'єр, водостійкість і механічні властивості полімеру в порівнянні з чистим PLA.

PCL є термопластичним поліестером, що підлягає біорозкладу та добре піддається термообробці, має низьку температуру плавлення і низьку в'язкість. Синтезується полімеризацією ϵ -капролактону. Через погані бар'єрні та механічні властивості PCL, які пов'язані з його низькою температурою плавлення, застосування PCL як полімеру, що біологічно розкладається, у пакувальній промисловості обмежено. Щоб збільшити сферу застосування, PCL зазвичай змішують з іншими полімерами (наприклад, пропіонатом целюлози, полімолочною кислотою і бутират ацетатом целюлози) для покращення стійкості до розтріскування, фарбування та адгезії.

Іншим перспективним матеріалом, який використовується в пакуванні, медицині та сільському господарстві, є РНА, який за хімічною будовою є поліестером різних гідроксиалканоатів, який синтезується в результаті мікробної ферментації. РНА – це нетоксичні кристалічні термопластичні еластomers з низькою температурою плавлення. Вони біосумісні з хорошою стійкістю до ультрафіолету та хорошими фізико-хімічними властивостями. Ці властивості залежать від мономерної композиції РНА. Застосування РНА обмежено через його погані механічні властивості, несумісність зі звичайними методами термічної обробки, а також чутливість до термічної деградації.

РНВ є найпоширенішим представником РНА з високим ступенем кристалічності. Він має перевагу біологічного розкладання під дією РНА-гідролаз і РНА-деполімераз, з утворенням R- і S-гідроксибутиратів та нетоксичних сполук в аеробних та анаеробних умовах. РНВ з кристалічністю до 70%, проявляє чудові механічні властивості, як поліетилен. Крім того, РНВ підходить для упаковки харчових продуктів завдяки своїй пластинчастій структурі, яка сприяє хорошим властивостям ароматизації та проникності водяної пари.

РНВ має температуру плавлення, близьку до PLA, і, таким чином, можна змішувати обидва полімери в їх розплавленому стані. Однак погані механічні характеристики та поведінка при обробці розплаву РНВ, тобто висока крихкість, низька термічна стабільність і складна обробка, а також недостатні бар'єрні властивості обмежують його широке застосування. Робиться багато спроб покращити його властивості для застосування в упаковці. Пластифіковані суміші PLA-РНВ з катехіном готують змішуванням в розплаві. Матеріали з додаванням РНВ покращили механічні властивості пластифікованих сумішей PLA-РНВ, які продемонстрували потенціал як активна упаковка на біооснові для жирної їжі.

Полімери, здатні до біорозкладу, мають потенціал для вирішення проблем забруднення пластиком відходами, що не піддаються біологічному розкладанню. Однак більшість біологічно розкладних пластмас зазвичай не використовуються, оскільки вони досить дорогі, а діапазон вибору матеріалів, придатних для різних продуктів кінцевого використання, обмежений. Щоб полімери, які піддаються біорозкладу, мали широке промислове застосування, важливо мінімізувати їх вартість шляхом змішування їх з відновлюваною сировиною. Природним біополімером, синтезованим з відновлюваних ресурсів, є крохмаль. Оскільки крохмаль недорогий, легкодоступний і повністю

біологічно розкладається, зростає інтерес до синтезу продуктів на основі крохмалю. Змішування пластмас, які піддаються біорозкладу, із термопластичним крохмалем є найбільш перспективним підходом до мінімізації вартості цих полімерів.

Крохмаль чутливий до води, і властивості його плівки сильно залежать від вмісту вологи, демонструючи відносно низьку механічну стійкість. Крім того, через високу температуру плавлення та нижчу температуру термічного розкладання крохмалю він погано піддається термічній обробці. Щоб зробити крохмаль придатним для цільового застосування, необхідно змішувати крохмаль з іншими полімерами. Властивості полімерів можуть бути змінені або модифіковані шляхом змішування. Суміші крохмалю з полімерами, які мають підвищену водонепроникність і хороші механічні властивості як пакувальні матеріали, є не тільки екологічно доцільним, але й економічно вигідним. Ці термопластичні матеріали на основі крохмалю, змішані з полімерами, такими як поліолефіни, PHA, PLA і PCL, отримали широке промислове застосування.

Антимікробна упаковка відіграє важливу роль в пакуванні харчових продуктів, оскільки, може подовжити термін придатності та забезпечити збереження їжі. Антимікробну упаковку можна створити шляхом введення біоактивних речовин безпосередньо в пакувальні сполуки, нанесення біологічно активних речовин на поверхню упаковки або шляхом формування плівки з використанням антимікробних полімерів. Крохмаль і похідні крохмалю, PHB і PLA мають багато функцій, сумісних з багатьма антимікробними засобами для упаковки. Вони були ретельно перевірені як на патогенні, так і на мікроорганізми, що викликають псування в біомедичних та харчових продуктах у різних умовах тестування. Активні плівки, отримані методом лиття з розчинника, продемонстрували вивільнення антимікробних агентів та ефективність проти цільових мікроорганізмів.

Ряд протимікробних засобів є сумісним з крохмалем; і отримані крохмальні плівки демонструють здатність деактивувати багато видів патогенів. Серед різних антимікробних пептидів нізин або педіоцин були включені в нанокомпозитні плівки крохмалю за допомогою методу лиття для консервування харчових продуктів. Ці плівки не тільки володіють покращеною термостабільністю, механічною міцністю та водонепроникними властивостями, але й виявляють високу антимікробну активність щодо *L. monocytogenes* та *S. perfringens*. Ефективність антимікробних пакувальних матеріалів часто залежить від кількості антимікробних агентів, введених у полімерну матрицю,

та оптимальної кількості, що вивільняється з часом. Ефективність плівки зазвичай регулюється протоколом рецептури та використаними матеріалами. Однак кількість дезінфікуючих засобів, включених у полімерну або крохмальну матрицю, слід належним чином контролювати або для конкретного застосування, або мінімізуючи негативний вплив на навколишнє середовище. Повідомлялося, що крохмаль, що містить прополіс, покращує антимікробну ефективність проти різних патогенів навіть у дуже низьких кількостях. Антимікробні агенти, отримані з природних джерел, таких як ефірні олії (ЕО), також показали бажану антимікробну активність без шкідливого впливу на харчові продукти. Також існують подібні системи на основі біонаноккомпозитів термопластичного крохмалю та шаруватих силікатів, що містять ЕО для пакування харчових продуктів. Профіль вивільнення антимікробних агентів у композитах часто контролюється змінами рецептури або взаємодією між компонентами в композиті.

Шляхом змішування в розплаві антимікробного термопластичного крохмалю (АТРС) з LLDPE була виготовлена антимікробна пакувальна плівка. Полігексаметиленгуанідину гідрохлорид, який використовується як антимікробний засіб, змішували з крохмалем. Отримані плівки LLDPE/АТРС продемонстрували чудову антимікробну активність проти *Escherichia coli* (*E.coli*). Крім того, було вивчено антимікробну властивість і поведінку при біодеградації нових антимікробних плівок з полібутиленадипаткотерефталатом (РВАТ)/TPS до і після тримісячного тесту на захоронення в ґрунті. Результати продемонстрували, що і крохмаль, і РВАТ піддавалися біологічному розкладанню, а TPS показав чудове інгібування росту проти *E. coli* під час тесту на біорозклад.

Оскільки модифікований антимікробними препаратами крохмаль стає більш гідрофільним, покращення сумісності між модифікованим крохмалем і РВАТ є важливим. Для цього використовують компатибілізатор, синтезований шляхом кополімеризації стиролу, малеїнового ангідриду і гліцидилметакрилату. Серед них ланцюги стиролу належать до гідрофобної частини компатибілізатора; тоді як ангідридна та гліцидильна групи є гідрофільними та забезпечують ковалентний зв'язок з крохмалем, що ще більше покращує сумісність між крохмалем та РВАТ.

Застосування РНВ не обмежується пакувальними матеріалами. РНВ можна використовувати для інкапсуляції харчових добавок і як носій для доставки поживних речовин. Плівки РНВ, що містять різні антимікробні агенти,

продемонстрували високу активність щодо інгібування росту мікроорганізмів та контрольованого вивільнення дезінфікуючих засобів, кінетику яких можна описати за допомогою моделі дифузії Фіка. Різні природні протимікробні агенти, включаючи ванілін, софороліпід або евгенол, були включені в біоматеріали на основі РНВ у різних кількостях для активних пакувальних матеріалів. Плівки РНВ, що містять ванілін та евгенол навіть у невеликій кількості (80 мг/г РНВ), виявились ефективними проти різних видів бактерій. Активні плівки РНВ/TPS з евгенолом також виявляли протигрибкову активність щодо *Botrytis cinerea* та антиоксидантну активність. Проте, включення цих природних антимікробних агентів до РНВ часто знижує термостабільність та механічні властивості плівок.

Крім природних протимікробних засобів, синтетичні дезінфікуючі засоби також використовують в пакувальних матеріалах на основі РНВ. Тим не менш, для упаковки харчових продуктів дозування протимікробних засобів має бути добре контрольованим. Нанокompозити РНВ/PCL/органоглина, що містять нізін, демонструють хороший інгібуючий ефект проти *Lactobacillus plantarum*; і в результаті подовжують термін придатності обробленого м'яса, упакованого нанокompозитною плівкою. Наночастинки оксиду цинку (ZnO) також є неорганічним і економічно ефективним протимікробним агентом для пакування харчових продуктів. Розмноження грампозитивної бактерії (*Staphylococcus aureus*) було повністю пригнічено обробленою плівкою РНВ, наповненою наночастинками ZnO.

Включення антимікробних агентів у матрицю PLA дозволило вивільняти агенти контрольованим способом, покращуючи тим самим їх ефективність проти мікроорганізмів. Антимікробні речовини, включені в шар покриття PLA, створюють гідрофільну поверхню, яка запобігає адгезії мікроорганізмів на поверхні плівок. Щоб задовольнити особливі вимоги для біомедичних застосувань, були розроблені різні методи модифікації поверхні PLA, наприклад, модифікація поверхні PLA за допомогою наночастинок срібла для створення антимікробних нанокompозитних плівок. PLA/PBAT, інтеркальований органоглиною, що містить антимікробну природну каніфольну кислоту, шляхом змішування розплаву належить до нанокompозитів, що застосовують у «зеленій» упаковці. Крім того, нанокompозити PLA/PBAT, що містять каніфольну кислоту, виявляють ефективну антимікробну дію в порівнянні з немодифікованими нанокompозитами PLA.

Також використовують біорозкладні активні плівки на основі PLA в суміші з PHB. У цей полімер додають карвакрол як активний агент та олігомери молочної кислоти (OLA) як пластифікатори задля покращення функціональних властивостей та антимікробної активності. Активні плівки PLA/PHB демонструють хороший бар'єр для водяної пари, тоді як опір дифузії кисню зменшується через додавання OLA та карвакролу.

Бінарні та потрійні нанокомпозити на основі PLA з нанокристаллами целюлози (CNC) та наночастинками лігніну (LNP) виготовляють методом реактивного приєднання у розплаві. LNP з антиоксидантною активністю, включені в плівки, виявилися ефективними щодо антимікробної активності проти патогенів рослин. Крім того, комбінація CNC і LNP створює синергетичний ефект на антиоксидантну активність потрійних плівок на основі PLA.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Незважаючи на те, що біополімери є екологічно чистими та найпривабливішими пакувальними матеріалами, їх промислове застосування обмежене через деякі фактори, такі як бар'єрні властивості щодо для кисню та водяної пари, термостійкість та інші механічні властивості. Через ці обмеження синтетичні полімери є найбільш широко використовуваними матеріалами для пакування. Щоб усунути ці обмеження та заохотити промислове застосування біополімерів для пакувальних матеріалів, є потреба в подальших дослідженнях для ефективного збільшення терміну зберігання, якості, харчової цінності та стійкості до мікробів. Крім того, необхідно підвищити бар'єрні властивості. Застосування біополімерів, що складаються з волокон крохмалю або целюлози, найімовірніше, стійко зростатиме. Декілька методів покращення властивостей і продуктивності антимікробних пакувальних матеріалів, такі як полімерне змішування, хімічні та фізичні модифікації, нанокомпозити, продемонстрували перспективний потенціал для різних застосувань. Як функціональні, так і технічні обмеження були перешкодами для розробки та застосування антимікробних пакувальних матеріалів у харчовій промисловості. Деякі з цих обмежень включають паро- і повітряний бар'єр, низьку здатність до обробки, стабільність антимікробних агентів в умовах обробки, токсичність, а також зміни механічних властивостей пакувальних матеріалів.

Тому подальша дослідницька робота повинна бути зосереджена на дослідженні зв'язків антимікробної дії з кінетикою мікробного росту в упакованих харчових продуктах як у лабораторних, так і в промислових

умовах. Стратегії покращення антимікробної дії, такі як синергізм, наноккомпозити та змішування, будуть основними інструментами для покращення антимікробної упаковки та уникнення обмежень її використання.

Список використаних джерел

1. Wróblewska-Krepsztul, Jolanta & Rydzkowski, Tomasz & Borowski, Gabriel & Szczypiński, Mieczysław & Klepka, Tomasz & Thakur, Vijay Kumar. (2018). Recent progress in biodegradable polymers and nanocomposite-based packaging materials for sustainable environment. International Journal of Polymer Analysis and Characterization. 10.1080/1023666X.2018.1455382.
2. Zhong, Yajie & Godwin, Patrick & Jin, Yongcan & Xiao, Huining. (2019). Biodegradable Polymers and Green-based Antimicrobial Packaging Materials: A mini-review. Advanced Industrial and Engineering Polymer Research. 3. 10.1016/j.aiepr.2019.11.002.
3. Речун О.Ю., Передрій О.І. Активне та розумне пакування харчових продуктів. Товарознавчий вісник. 2021. Випуск 14. С.65-77. DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2310-5283-2021-14-7>.
4. Haider T. P., Völker C., Kramm J., Landfester K., Wurm, Angew F. R.(2019). Chem. Plastics of the Future? The Impact of Biodegradable Polymers on the Environment and on Society. Int. Ed. 2019, 58, 50. 10.1002/anie.201805766.

The purpose of the article is to analyze the characteristics of polymers that are biodegradable and used in food packaging, to identify the most promising materials for food packaging, as well as to find ways to solve problems associated with the use of this type of packaging.

Methodology. *Methods of theoretical search, system approach and logical generalization are used.*

Results. *In the article currently available types of packaging materials that are biodegradable are analyzed, their main advantages and disadvantages are identified. These materials are classified on the basis of their chemical composition and methods of synthesis. The most optimal compositions of materials for food packaging are determined, as well as the main methods of improving their functional properties. Particular attention is paid to materials with antimicrobial properties, which should be used as active food packaging. Thus, you can improve the quality of the packaged product, as well as extend its shelf life. Antimicrobial packaging materials based on starch, polylactic acid and polyhydroxybutyrate are considered. Further prospects for research on this topic are identified.*

Scientific novelty. *The main properties of biodegradable polymers and the characteristics of antimicrobial packaging materials based on these polymers, which can be used for food packaging, were analysed.*

Practical significance. *Currently, most food packaging materials do not decompose and create serious environmental problems. Therefore, new technologies are being researched and*

developed to study the complex interactions between packaging materials and food products. The use of biodegradable polymers can significantly reduce the amount of plastic waste. In addition, the synthesis of biopolymers from renewable resources is cost-effective because it reduces the cost of packaging. Moreover, the use of antimicrobial materials based on biodegradable polymers in food packaging can extend the shelf life of the latter, so the use of these materials can preserve product quality and provide economic benefits.

Key words: *biodegradable polymers, antimicrobial materials, nanocomposites, packaging, food products.*

*Стаття рекомендована до друку доктором технічних наук,
професором Луцького НТУ Ягелюк С.В.
Дата надходження в редакцію 01.12.2021 р.*