

ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

УДК 621.798

Лебединець В. Т.,

viralebedynets@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-0034-5290,

Researcher ID: F-5530-2019,

*к.т.н., доц., доцент кафедри товарознавства, митної справи та управління якістю,
Львівський торговельно-економічний університет, м. Львів*

ДОСЯГНЕННЯ І ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ УПАКОВОК

Анотація. Величезну роль у розвитку пакувальних рішень для промисловості відіграють наукові дослідження. Даний огляд присвячений основним напрямкам робіт вчених різних країн у розробці інтелектуальних упаковок. У статті подано класифікацію інтелектуальних упаковок, що мають спеціальні пристосування, які швидко реагують на зміни упакованого продукту та інформують про його стан і властивості, а також про пошкодження упаковки, ступінь безпеки і якість самого продукту. Представлено сучасні наукові досягнення з розробки інноваційних засобів контролю несанкціонованого доступу до харчових продуктів. Відмічено, що основну увагу приділено питанням впровадження новітніх технологій захисту продуктів від фальсифікації та крадіжок, а також застосуванню штрих-кодів та міток радіочастотної ідентифікації. Розглянуто основні аспекти використання упаковки з різними індикаторами, у тому числі часових змін температури, свіжості та мікробіологічного псування, зрілості продуктів, цілісності або герметичності упаковки, наявності газів, токсинів тощо. Проаналізовано дослідження вітчизняних і зарубіжних вчених щодо використання нанодатчиків в упаковках для ідентифікації хімічних речовин, бактерій, алергенів, патогенів і токсинів у продуктах харчування. Пошук нових ідей у галузі інтелектуальної упаковки допомагає краще контролювати питання щодо збільшення строків придатності, регулювання свіжості і підтримки стабільної якості харчових продуктів, також забезпечує простежуваність партії товарів на всіх етапах під час переміщення у ланцюзі постачання.

Ключові слова: інтелектуальна упаковка, якість харчових продуктів, засоби контролю несанкціонованого доступу, індикатори часу і температури, механічних впливів та росту мікроорганізмів, біосенсори, датчики кисню.

Lebedynets V. T.,

viralebedynets@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-0034-5290,

Researcher ID: F-5530-2019,

Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of the Department of Commodity Science, Customs Affairs and Quality Management, Lviv University of Trade and Economics, Lviv

ACHIEVEMENTS AND PROSPECTS OF THE INTELLECTUAL PACKAGING DEVELOPMENT

Abstract. Scientific research plays a huge role in the development of packaging solutions for industry. This following review is devoted to the main areas of work of scientists from different countries in the development of intellectual packaging. The article presents a classification of intellectual packaging that has special devices that respond quickly to changes in the packaged product and inform about its condition and properties, as well as damage to the packaging, the degree of safety and product quality itself. Modern scientific achievements in the development of innovative means of controlling unauthorized access to food products are presented. It is noted that the main attention is paid to the introduction of the latest technologies to protect products from counterfeiting and theft, as well as the use of bar codes and radio frequency identification tags. The main aspects of the use of packaging with various indicators, including temporal changes in temperature, freshness

and microbiological spoilage, product maturity, integrity or tightness of packaging, the presence of gases, toxins, etc. are considered. The researches of domestic and foreign scientists on the use of nanodetectors in packaging for the identification of chemicals, bacteria, allergens, pathogens and toxins in food is analyzed. Finding new ideas in the field of intellectual packaging helps to better control the shelf life, regulate freshness and maintain stable food quality as well as ensures the traceability of goods batches at all stages during the movement in the supply chain.

Key words: intellectual packaging, food quality, means of control of unauthorized access, indicators of time and temperature, mechanical influences and growth of microorganisms, biosensors, oxygen sensors.

JEL Classification: I12; L15; L60; L66

DOI: <https://doi.org/10.36477/2522-1221-2022-29-04>

Постановка проблеми. Сьогодні виробництво будь-яких продуктів харчування не можна представити без застосування упаковки. Харчовий продукт і його упаковку необхідно розглядати в комплексі, у межах загальної концепції пакувального продукту. Успіх розробки якісної упаковки повністю залежить від розуміння характеристик пакувального продукту, механізму його псування, можливостей пошкодження у процесі збуту, а також можливості його взаємодії з розфасованим продуктом, тобто сумісності пакувального матеріалу з вмістом упаковки.

Більшість виробників таропакувальної індустрії йдуть назустріч побажанням споживачів у сфері підвищення естетичності і функціональності. Але цю упаковку, яку ми бачимо сьогодні на полицях супермаркетів, можна назвати пасивною, оскільки вона лише забезпечує збереження продукту і представляє його споживачу. Звичайна харчова упаковка може продовжити термін зберігання продукту шляхом його захисту, але вона не може інформувати споживачів про погіршення якості з точки зору коливання температур, зміни концентрації газів, розвитку мікроорганізмів у середовищі упаковки тощо. Тому в останні роки спостерігається суттєвий ріст нанотехнологій у таропакувальній галузі, а саме: розробці активних і інтелектуальних упаковок.

Інтелектуальна упаковка покликана аналізувати вплив навколишнього середовища на стан продукту й інформувати про його стан покупця. При цьому споживач отримує відомості про закінчення терміну придатності продукту або невідповідність вимогам умов його зберігання і транспортування.

Тому нами проаналізовано досягнення вітчизняних та зарубіжних вчених із технологічних розробок у галузі інтелектуальної упаковки з метою запобігання негативних змін в упакованих продуктах, інформування про небезпеку харчових продуктів, запобігання захворювань споживачів, захисту бренда та ін.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Аналіз наукових публікацій показує, що є значна кількість вітчизняних і зарубіжних праць, у яких розглядаються різні аспекти і концепції інтелектуальних систем пакування.

Вітчизняними науковцями Гавва О.М., Токарчук С.В., Кохан О.О., Калініна О.С., Байцер Р.І., Коротка В.О. та ін. проведений аналіз досягнень зарубіжних та вітчизняних компаній у розробці сучасних інтелектуальних упаковок [1; 2]. Іноземними вченими Saliu F. [3], Mattila T., Norwinyuwong, Pasquit, Smolander M. [4; 5], Lee S. [6] вивчалися сучасні індикатори псування харчових продуктів, тобто відстежування свіжості продуктів, Ghaani та інші представили характеристики та ринковий потенціал різних типів інтелектуальних інструментів, таких як датчики, індикатори, мітки та панелі RFID, а Fang та ін. вивчав додаток технології розумного пакування, який можна успішно застосовувати в м'ясній промисловості [7; 8].

Споживачі поступово починають віддавати перевагу товарам в упаковці, яка надає їм інформацію про продукт, особливості бренда, встановлює прямі контакти з покупцем за допомогою мобільного додатка, що активізується за допомогою QR-коду, підвищує їх безпечність тощо.

Постановка завдання. Метою статті є аналіз досліджень і перспектив у галузі застосування інноваційних розробок вітчизняних і зарубіжних вчених щодо впровадження у виробництво інтелектуальних упаковок; створення узагальненої класифікації інтелектуальних упаковок, які використовують з метою забезпечення збереження якості та безпечності харчових продуктів.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Індустрія упаковки постійно розвивається – з'являються нові матеріали і обладнання, розробляються нові технології, які пов'язані з потребою високої якості харчових продуктів, необхідністю підвищення ефективності виробництва і

логістики, дотримання екологічних вимог, збільшення загальної рентабельності.

«Інтелектуальні» – це матеріали та предмети, які контролюють стан упакованих харчових продуктів, або середовища, що оточує харчовий продукт. Таким чином, інтелектуальна упаковка вміє спостерігати і записувати зміни внутрішнього і зовнішнього середовища.

«Інтелектуальні» системи упаковки надають споживачеві інформацію про харчові продукти, взаємодію їх із упаковкою, здатні оцінити міграцію хімічних речовин із пакувального матеріалу в продукт, яка виникає при безпосередньому їх контакті. «Інтелектуальні» системи можуть бути розташовані як на зовнішній поверхні упаковки, так і можуть бути відділені від харчового продукту функціональним бар'єром, який є бар'єром всередині матеріалів, що контактують із харчовим продуктом, або предметами, що перешкоджають переміщенню речовин внаслідок цього бар'єра в харчовий продукт.

Термін «інтелектуальна» використовується при створенні упаковки, яка здатна «відчу-

вати» й «інформувати». Спеціальні пристосування в інтелектуальній упаковці реагують на зміни, які відбуваються в упакованому продукті, і інформують про його стан і властивості, а також про непошкодженість упаковки, ступінь безпечності та якість продукту. Ці пристосування використовують для визначення справжності продукту, запобігання несанкціонованого відкриття упаковки і для відслідковування партії продукції.

Деякі спеціалісти розрізняють «інтелектуальну» упаковку і «розумну», хоча принципи такої класифікації у всіх різні. Але більшість погоджуються, що нові хімічні технології роблять упаковку інтелектуальною.

Інтелектуальна упаковка включає:

- засоби контролю несанкціонованого доступу (штрих-коди, голограми, електронні етикетки, мітки радіочастотної ідентифікації);
- індикатори та датчики часових змін температури, цілісності або герметичності упаковки, наявності газів, токсинів, свіжості і зрілості продукту тощо (рис. 1).



Рис. 1. Класифікація інтелектуальних упаковок

Важливою складовою пакування є *різноманітні засоби контролю несанкціонованого доступу*. Крадіжки, підробки і фальсифікація вважаються всесвітньою проблемою як для харчової промисловості, так і для споживачів. З метою запобігання крадіжкам і фальсифікації харчових продуктів використовують системи RFID, штрих-коди, термохромові фарби, барвники, голограми, спеціалізовані лазерні етикетки й електронні теги тощо.

З метою підтвердження автентичності товару на його упаковку наносять *товарні знаки або логотипи фірми-виробника*.

Голограми виготовляються на основі самоклеючих багатошарових плівок, і повторне використання голограми є неможливим, адже при спробі зняти мітку з виробу відбувається її руйнування. З метою підвищення рівня захисту голограми звично доповнюються додатковими захисними елементами. Наприклад, включенням у дизайн оригінального рисунку з використанням оптичних змінних фарб, які змінюють свій колір у залежності від зміни кута огляду. Різновидністю голограм є так звані кінеграми – «вмонтовані» у рисунок міні-зображення, які під різним кутом огляду дають ефект руху або зміну геометричних форм об'єкта, який зображений.

Окрім видимих зображень, голограми можуть мати напівприховані або приховані елементи: наприклад, мікротекст, розмір якого такий малий, що для його зчитування необхідний прилад із збільшеною здатністю до 30 разів, або текст, для читання якого потрібне 100-кратне збільшення. Такі інноваційні технології маркування широко використовуються для захисту фармацевтичної продукції від контрафакту, а також при виготовленні акцизних марок і наклейок на акцизні товари. Вони забезпечують високий ступінь захисту, їх неможливо сканувати і складно відтворити на поліграфічному обладнанні.

До складних технологій захисту продуктів від фальсифікації можна віднести наявність: водяних знаків або різноманітних включень, що спеціально вводяться у матеріал пакування: захисних волокон (видимих чи невидимих); різнокольорових металевих ниток, що можуть мати мікрогравірування; частинок, які реагують на інфрачервоне випромінювання; різнокольорових багатошарових мікрочастинок (20-400 мкм), яким присвоєно спеціальні коди, а також штрих-кодів, які невидимі неозброєним оком, або написів із скритою інформацією, що може ідентифікувати продукт [2].

Міжнародна асоціація виробників голограм (IHMA) запропонувала технологію нанесення

на шоколад «істівних» голограм. Їх виробництво базується на використанні розчину кукурудзяного сиропу, ванілі та води, який висихає і перетворюється у тонку плівку. В подальшому його покривають тонким шаром нетоксичного чорного барвника. Більшість барвника витравлюється методом прямого лазерного інтерференційного рисунку, а позаду залишаються підняті нанорозмірні лінії, що утворюють дифракційну решітку. При попаданні світла воно дифракуює в райдужний рисунок, при цьому різні кольори з'являються під різними кутами огляду. Інтенсивність і діапазон кольорів можна регулювати зміною відстані між лініями решітки або вмістом цукру в кукурудзяному сиропі [9].

Надійним захисним маркуванням є технологія, що передбачає «впровадження» у склад захисної мітки унікальних мікрочастинок, які мають визначені властивості. До цієї групи скритих захисних елементів відносяться переважно магнітні мітки, з введенням у барвники металізованих порошоків, які виявляються магнітним детектором; унікальні маркування з хаотичним розподілом елементів (наприклад, захисні мітки з бульбашковим ефектом), які перевіряються за допомогою оптичного сканера й інших інноваційних технологій. Вартість міток, які виконані за такою технологією, поки висока, і сфера їх використання обмежена дорогими ексклюзивними товарами.

Один із способів боротьби з підробками – скрите маркування, яке невидиме споживачам, але торгові партнери зчитують його за допомогою спеціальних приладів. Скрите маркування наносять спеціальними невидимими флуоресцентними чорнилами. Такі ж технології краплеструминного і термоструминного друку ідеально підходять для нанесення скритих кодів DatfMatrix – двомірних штрих-кодів із чорних і білих комірок, організованих у вигляді квадрата, в яких можна зашифрувати текст і цифрові дані [10].

Скрите маркування, ймовірно, продовжить поширюватися, оскільки клієнти все частіше віддають перевагу нанесенню кодів, які придатні для автоматичного зчитування, спрощуючи процес виробництва і розповсюдження продукції.

Сьогодні стають популярними електронні технології ідентифікації і захисту товарної продукції від контрафакту, а інформаційна функція набуває інноваційних можливостей. Науковцями і практиками втілюються сучасні технічні рішення у галузі інформаційних технологій, а саме: так звані QR-коди («quick response»-коди).

Радіочастотна ідентифікація на даний час має незаперечні переваги у сфері контролю

переміщення і відстежування товару. Використання безпроводної техніки для передачі даних між зчитувачем і радіолокатором має суттєву перевагу в порівнянні з іншими прямими ідентифікаторами, такими як система штрих-коду.

До числа перспективних антиконтрафактних технологій, що завоювали світовий ринок, відноситься радіочастотна ідентифікація (Radio Frequency Identification – RFID) – це спосіб автоматичної ідентифікації товарів засобом радіосигналів. Ця захисна система передбачає, що у маркувальний виріб і/або упаковку імплантуються спеціальні RFID-мітки (мікročіпи), із записаними у них відомостями про товар, який захищається. Вивчаючи радіохвилі, RFID-мітки передають дані про об'єкт на зчитувальний пристрій (рідер), який здійснює збір і обробку інформації. RFID-технологія дозволяє не тільки ідентифікувати марковані об'єкти, але і відстежувати їх переміщення за всім маршрутом.

Сьогодні відомо декілька десятків компаній, які постачають антиконтрафактні RFID-технології на світовий ринок. Серед них FEIC Electronic (Німеччина), Vectron (США), Confidex (Фінляндія), EM Microelectronic-Marin SA (Швейцарія) та ін.

Наприклад, за допомогою RFID-технології можна визначити навіть різну зрілість і рівень якості італійського сиру [11].

Крім цього, до інноваційних рішень відносять також інтеграцію **наносенсорів і наноіндикаторів** в упаковку харчових продуктів. Така упаковка забезпечує простежуваність харчового продукту або дозволяє контролювати збереженість свіжості або забрудненість продукту мікроорганізмами, що викликають його псування, патогенними мікроорганізмами, алергенами або токсинами у процесі транспортування і зберігання.

Інтелектуальні контактні матеріали контролюють стан пакувального харчового продукту або його навколишнє середовище та надають інформацію про його ступінь свіжості. Подальший розвиток цього напрямку приведе до того, що у майбутньому вже сама упаковка буде вказувати, чи дотримані строки і терміни зберігання даного зразка товару.

Також вже не є новинкою технічні засоби, які дозволяють реєструвати і передавати повну інформацію про «життя» продукту, а саме: час і температуру.

Індикатори часу і температури (Time Temperature Biosensor, скорочено – ТТВ) являють собою сенсорні механізми, базовані на різнома-

нітних хімічних реакціях: полімеризації, ферментативній реакції, дифузії і плавлення. Так само, як фрукт змінює колір, коли дозріє, а потім гниє, так і харчові продукти розповсюджують запахи, коли псуються, тому за допомогою цих механізмів процеси псування можуть бути трансформовані у зміну кольору упаковки. Іншими словами, упаковка сама може визначати дату «Використати до...». Така технологія вже розроблена в промислових масштабах у Франції, де її застосовують вже у більше ніж 140 виробках [1].

Індикатори температури змінюють свій колір при недотриманні температурних режимів зберігання продукту. Ці індикатори є ефективними при зберіганні заморожених продуктів, які при випадковому розмороженні не можна повторно заморожувати.

Компанія Smart Lid Systems розміщує індикатори на одноразових кришках для паперових і пластикових горняток для гарячих напоїв (від +48 °С). Кришка змінює колір при зміні температури напою [12].

Іншим прикладом слугує гнучка біорозкладна упаковка для продуктів харчування від Primitives, яка виготовлена на основі водоростей та змінює свій колір у залежності від псування продукту або повторного замороження [13].

В останнє десятиліття у світовій практиці набуло поширення маркування з використанням кольорозмінних захисних фарб, із додаванням спеціальних добавок, що надають захисним міткам особливих ознак. Ці ознаки є невидимими при звичайному денному або штучному світлі і виявляються тільки під ультрафіолетовим світлом або інфрачервоним випромінюванням. Такі захисні фарби можуть наноситися на сам виріб, або на його упаковку або на контейнер. Верифікація таких скритих захисних елементів здійснюється за їх характерними ознаками завдяки спеціальним приладам. До цієї групи захисних елементів відносяться термохромні фарби, які змінюють свій колір у відповідь на зміну температури.

Термохромні фарби стають видимими лише при визначених температурах, що дозволяє сигналізувати тільки про конкретні зміни мікроумов всередині упаковки. Наприклад, якщо ви підігріваєте кленовий сироп у мікрохвильовій печі, поява фарби сигналізує про те, що пляшка нагрілася до оптимальної температури. Інші фарби проявляються тільки при низьких температурах, попереджаючи про можливе переохолодження продукту.

Крім того, такі технології зручні для споживачів, є важливими на всіх стадіях ланцюга

поставок і складського зберігання. Термохромові фарби можуть повідомити про те, чи працює холодильне обладнання, й оцінити стан продуктів, які надходять на склад. Це дуже рентабельний засіб контролю якості виробів, особливо тих, які реагують на температурні зміни.

Шведська компанія Bioett AB розробила і запатентувала етикетку з біодатчиком, який налаштований на розповсюдження радіочастотних хвиль. Ця технологія дає можливість контролювати стан швидкопсувних продуктів під час переміщення у ланцюзі постачання. *Біодатчик* реагує як на коливання *температури*, так і на час, збільшуючи при цьому силу сигналу. Сигнал стійкий і може зчитуватися портативним сканером на будь-якій стадії життєвого циклу упакованого товару. Сканер створює графік, який показує коливання температури в кожному окремому випадку і дозволяє операторам, які відстежують стан продукту на комп'ютері, скласти повну картину «життя» виробу на будь-якому етапі. Ця технологія – рентабельний засіб контролю якості товару після того, як він потрапляє у споживчий ланцюг.

При зберіганні герметично упакованих харчових продуктів відбуваються зміни їх якості завдяки розмноженню різних мікроорганізмів, у процесі чого виділяються вуглекислий газ, аміак, сірка, сірководень, аміни, етанол, органічні кислоти, ензими та токсини. Тому інтелектуальні упаковки містять *індикатори свіжості*, які показують зміну рН, наявність летких сполук азоту й сірководню та ензимних хромогенних субстратів, що утворюються внаслідок мікробного забруднення продукту. На ці всі речовини реагують електронні та оптичні датчики, а також із продуктами метаболізму мікробів вступають у реакцію спеціальні сполуки, які впливають на зміну кольору упаковки.

З метою захисту споживачів від небезпечних продуктів розроблені *колориметричні індикатори мікробіологічного псування*. Суть їх полягає у тому, що мікрофлора, яка викликає псування, розвивається з виділенням вуглекислого газу, а спеціальні індикатори, розташовані в полімерній матриці на етикетці, визначають присутність або зміну концентрації CO₂ в упаковці. При підвищенні концентрації CO₂ колориметричні індикатори змінюють колір, сигналізуючи про зміни споживних властивостей продукту [3].

Інший спосіб колірної реакції був розроблений канадською компанією Toxin Alert. Антитіла, які налаштовані на присутність патогенних мікроорганізмів у м'ясі та м'ясних продуктах, розміщуються під внутрішній шар упакованої

полімерної плівки. При цьому антитіла забарвлюються й активізуються, коли патогени вступають у безпосередній контакт із плівкою. Робота візуального сенсора базується на реакціях антитіло-антиген (за типом імуоферментного тесту).

В Японії компанією To-Genkyo розроблено інноваційні цінники, які дозволяють контролювати свіжість м'яса за допомогою зміни його кольору. Цінник містить спеціальні чорнила, які реагують на аміак (продукт розпаду білків і побічний продукт псування м'яса). Коли нижня частина цінника синіє, м'ясо зіпсуте і штрих-код неможливо прочитати сканером [14].

Розроблено колориметричний індикатор свіжості Freshness Guard™ для упакованого м'яса птиці. Індикатор змінює колір, виявляючи сполуки сірки, які виділяються із зіпсутого м'яса. Суть його полягає у реакції сполук сірки з нанорозмірним шаром срібла. Спочатку колір тонкого сріблястого шару непрозорий світло-коричневий. Коли утворюється сульфат срібла, колір індикатора змінюється на прозорий [4].

Сьогодні вже розроблені датчики для виявлення *E. coli* 0157: H7, *Salmonella* spp., *Listeria monocytogenes*, *Bacillus cereus*, ентеротоксинів і білків-алергенів. Ведуться розробки біодатчиків (ДНК-біочіпів), які здатні розрізняти запах і смак [15].

При псуванні харчових продуктів мікроорганізми можуть розкласти білки з утворенням таких летких сполук азоту, як аміак, диметиламін і триметиламін, тим самим змінювати рН їжі. Властивість антоціанів змінювати свою хімічну структуру і колір залежно від рН середовища дозволяє використовувати плівки, які містять антоціановий пігмент, для контролю якості упакованих продуктів [16].

Науковцями [16] розроблено плівку на основі 1,5% агар-агару з додаванням антоціанового пігменту як індикатора зміни кислотності середовища. При контактуванні плівки, що містить антоціановий пігмент, зі свіжим рибним фаршем зміни кольору її не відбувалось, а при двохвилинному контакті з фаршем сумнівної свіжості плівка набуває синюватого відтінку.

Найбільш розповсюдженими для контролю свіжості і росту мікроорганізмів у різних харчових продуктах є такі комерційні індикатори свіжості, як Toxin Guard від канадської компанії Toxin Alert Inc., QTM від компанії FQSI (Massachusetts, США), Fresh Tag від COX Technologies (Belmont, Північна Кароліна, USA) та Food Sentinel System від компанії SIRA Technologies Inc. (Каліфорнія, США) [11].

Індикаторами зрілості оснащується упаковка для овочів, фруктів, ягід, грибів, баштанних культур, горіхів тощо.

Новозеландська компанія RipeSense розробила розумну етикетку для упаковки фруктів на основі спеціальних датчиків, які змінюють колір у залежності від ступеня зрілості фруктів: червоний – незрілий, оранжевий – твердий, жовтий – готовий до споживання. Ці датчики реагують на запах, який виділяє фрукт за ступенем досягання. Завдяки такій упаковці продовжується цикл життя продукту і суттєво скорочується рівень харчових відходів [17].

Компанією Ario (Landec Corp.) розроблено систему, яка зберігає продукцію свіжою без додаткових охолоджуючих агрегатів. Технологія Intelmer використовує чутливу до тиску мембрану «заплатку», яка автоматично змінює атмосферу в герметично запайній упаковці, регулюючи при цьому киснево-вуглекислий баланс. З одної сторони ця мембрана покрита рекристалізуючим полімером. При зміні температури, навіть несуттєвій, водонепроникність мембрани відповідно збільшується або зменшується. При більш високій температурі овочі «дихають» активніше, тому що мембрана пропускає більше кисню. Дана технологія може продовжити строк придатності таких овочів, як, наприклад, броколі, на строк більше 17 днів. Одночасно ідентичну технологію вибрала компанія Chiquita Brands International для зберігання бананів.

До індикаторів механічних впливів відносяться індикатори розгерметизації упаковки, які контролюють вміст кисню. Якщо упаковка з певних причин розгерметизувалась і у неї потрапив кисень, то спрацьовує індикатор кисню, що й свідчить про прискорення псування продукту.

За кордоном проведені дослідження з розробки етикеток або пломб, які прозорі до того часу, поки упаковку не відкриють. При пошкодженні упаковки етикетка або пломба змінює колір, а в деяких випадках появляються слова «відкрито» або «стоп» [18].

Такі сенсорні механізми можуть визначити **концентрацію кисню** в упаковці, вказуючи на порушення її цілісності. Хімічний датчик встановлюють на внутрішній частині упаковки безпосередньо близько від її вмісту і налаштовують на концентрацію УФ-випромінення в упаковці. Органічні хімічні зміни всередині упаковки слугують сигналом зміни її кольору.

З метою забезпечення споживача оперативною інформацією про рівень свіжості продукту додат-

ково можуть застосовуватися так звані «**індикатори кисню**», які надають споживачеві додаткову інформацію про цілісність упаковки і відхилення від ідеального складу газу протягом усього періоду зберігання. Типовий візуальний індикатор переважно складається з окислювально-відновного, відновлюваного та лужного барвників. При використанні таких барвників пошкоджену упаковку легко виявити за зміною кольору індикатора при переході від нормального до окисленого стану.

Принцип роботи **біодатчиків** базується на використанні реакцій полімеризації, ферментативної активності, електропровідності, дифузії або плавлення [19].

Висновки і перспективи подальших досліджень у даному напрямку. Ідеї розумної або інтелектуальної упаковки появились у результаті збоїв і проблем, які постійно виникають у процесі обігу харчових продуктів, особливо швидкопсувних і охолоджених, які транспортують на великі відстані.

До спеціальних пристосувань інтелектуальної упаковки відносять індикатори часу і температури, спеціальні барвні речовини, які чутливі до вмісту газу, індикатори росту мікроорганізмів, індикатори механічних впливів, різноманітні засоби контролю несанкціонованого доступу, можливих фальсифікацій і дрібних крадіжок харчових продуктів.

Спеціальні пристосування в інтелектуальній упаковці реагують на зміни, які відбуваються в упакованому продукті, та інформують про його стан і властивості, а також про цілісність упаковки, ступінь безпеки і якість.

Одночасно сьогодні необхідно працювати над зниженням цін харчових продуктів, упакованих в інтелектуальні упаковки. Вченими підраховано, що вартість харчових продуктів в інтелектуальній упаковці збільшується вдвічі.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Гавва О.М., Токарчук С.В., Кохан О.О. Smart-пакування для харчових продуктів. *Упаковка*. 2013. № 2. С. 36–40.
2. Калініна О.С., Байцер Р.І. Аналіз впливу пакування на якість харчових продуктів. *Scientific Journal «ScienceRise»*. 2017. № 2(31). С. 28–36.
3. Saliu F., Pergola R. D. Carbon dioxide colorimetric indicators for food packaging application: Applicability of anthocyanin and polylysine mixtures. *Sensors and Actuators B: Chemical*. 2018. Vol. 258. P. 1117–1124.
4. Smolander M., Hurme E., Koivisto M., Kivinen S. Indicator. PCT International Patent Application Publication, WO 2004/102185 A1, 2004.

5. Panuwat Suppakul. Intelligent Packaging. Panuwat Suppakul. In book: Handbook of Frozen Food Processing and Packaging Edition: Second Edition. Chapter: Intelligent Packaging. Publisher: CRC Press, Boca Raton. Editors: Da-Wen Sun. 2012. PP. 837–860.

6. Lee S. Y., Lee S. J., Choi D. S., Hur S. J. Current topics in active and intelligent food packaging for preservation of fresh foods. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2015. № 95, 2. P. 799–810.

7. Muhammad Sohail. Recent Developments in Intelligent Packaging for Enhancing Food Quality and Safety / Muhammad Sohail, Da-Wen Sun, Zhiwei Zhu. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2018. № 58(1). P. 1–41.

8. Ghaani M., Cozzolino C. A., Castelli G., Farris S. An overview of the intelligent packaging technologies in the food sector. *Trends in Food Science & Technology*. 2016. № 51:1. P. 11.

9. Дослідники розробили їстівні голограми. URL: <https://meta.ua/uk/news/tech/2525-doslidniki-rozrobili-stvn-gologrami>.

10. Маккормик М. Скрытая маркировка: представление и защита бренда. *Упаковка*. 2018. № 2. С. 40–42.

11. Realini C. E., Marcos B. Active and intelligent packaging systems for a modern society. *Meat Science*. 2014. № 98(3). P. 404–419.

12. Розумна упаковка: як технології третього тисячоліття бережуть здоров'я людини та планети. URL: https://smachnonews.24tv.ua/rozumna-upakovka-yak-tehnologiyi-tretogo-tisyacholittya-berezhut_n1698757.

13. Створили біоупаковку з водоростей: вона покаже, що їжа зіпсувалась. URL: <https://www.the-village.com.ua/village/city/city-news/294099-stvorili-bioupakovku-z-vodorostey-yaka-pokazuvatime-scho-yizha-zipsuvalas>.

14. Японцы начали делать специальные ценники для мяса. URL: <http://joyreactor.cc/post/4608230>.

15. Antioxidant effect of an innovative active plastic film containing olive leaves extract on fresh pork meat and its evaluation by Raman spectroscopy / M. Moudache, C. Nerín, M. Colon [et al.]. *Food Chemistry*. 2017. Vol. 229. P. 98–103.

16. Чеснокова Н.Ю., Приходько Ю.В., Кузнецова А.А., Кушнаренко Л.В., Герасимова В.А. Использование пленок, обогащенных антоциановым пигментом, в качестве индикатора свежести рыбного фарша. *Техника и технология пищевых производств*. 2021. Т. 51. № 2. С. 349–362.

17. В Новой Зеландии изобретены сенсоры спелости. URL: <http://www.new-garbage.com/?id=5132&page=5&part=45>.

18. Vanderroost M., Ragaert P., Devlieghere F., Meulenaer B. D. Intelligent food packaging: The next generation. *Trends in Food Science & Technology*. 2014. № 39. P. 47–62.

19. Smart packaging – «умная» упаковка. URL: http://www.newchemistry.ru/letter.php?n_id=654.

REFERENCES:

1. Havva, O. M., Tokarchuk, S. V. and Kokhan, O. O. (2013), Smart-pakovannia dlia kharchovykh produktiv, *Upakovka*, no. 2, pp. 36-40.

2. Kalinina, O. S. and Bajtser, R. I. (2017), Analiz vplyvu pakovan' na iakist' kharchovykh produktiv, *Scientific Journal «ScienceRise»*, no. 2 (31), pp. 28-36.

3. Saliu, F. and Pergola, R. D. (2018), Carbon dioxide colorimetric indicators for food packaging application: Applicability of anthocyanin and polylysine mixtures, *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol. 258, pp. 1117-1124.

4. Smolander, M., Hurme, E., Koivisto, M. and Kivinen, S. (2004), Indicator. PCT International Patent Application Publication, WO 2004/102185 A1.

5. Panuwat, Suppakul. (2012), Intelligent Packaging. Panuwat Suppakul. In book: Handbook of Frozen Food Processing and Packaging Edition: Second Edition. Chapter: Intelligent Packaging. Publisher: CRC Press, Boca Raton. Editors: Da-Wen Sun, pp. 837-860.

6. Lee, S. Y., Lee, S. J., Choi, D. S. and Hur, S. J. (2015), Current topics in active and intelligent food packaging for preservation of fresh foods, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, no. 95, vol. 2, pp. 799-810.

7. Muhammad, Sohail, Da-Wen, Sun, Zhiwei, Zhu. (2018), Recent Developments in Intelligent Packaging for Enhancing Food Quality and Safety, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, no. 58 (1), pp. 1-41.

8. Ghaani, M., Cozzolino, C. A., Castelli, G. and Farris, S. (2016), An overview of the intelligent packaging technologies in the food sector, *Trends in Food Science & Technology*. no. 51:1, pp. 11.

9. Doslidnyky rozrobyly istivni holohramy, available at: <https://meta.ua/uk/news/tech/2525-doslidniki-rozrobili-stvn-gologrami/>.

10. Makkormyk, M. (2018), Skrytaia markyrovka: predstavlenye y zaschyta brenda, *Upakovka*, no. 2, pp. 40-42.

11. Realini, C. E. and Marcos, B. (2014), Active and intelligent packaging systems for a modern society, *Meat Science*, no. 98 (3), pp. 404-419.

12. Rozumna upakovka: iak tekhnolohii tret'oho tysyacholittia berezht' zdorov'ia liudyny ta planety, available at: https://smachnonews.24tv.ua/rozumna-upakovka-yak-tehnologiyi-tretogo-tisyacholittya-berezht_n1698757/.

13. Stvoryly bioupakovku z vodorostej: вона покаже, що їжа зіпсувалась, available at: <https://www.the-village.com.ua/village/city/city-news/294099-stvorili-bioupakovku-z-vodorostey-yaka-pokazuvatime-scho-yizha-zipsuvalas/>.

14. Yapontsy nachaly delat' spetsyal'nye tsennyky dlia miasa, available at: <http://joyreactor.cc/post/4608230>.

15. Moudache, M., Nerín, C., Colon, M. [et al.]. (2017), Antioxidant effect of an innovative active plastic film containing olive leaves extract on fresh pork meat and its evaluation by Raman spectroscopy, *Food Chemistry*, vol. 229, pp. 98-103.

16. Chesnokova, N. Yu. Prykhod'ko, Yu. V., Kuznetsova, A. A., Kushnarenko, L.V. and Herasymova, V. A. (2021), Yspol'zovanye plenok, obhaschennykh antotsyanovym pyhmentom v kachestve yndykatora svezhesty rybnoho farsha, *Tekhnika y tekhnolohiya pyschevykh proyzvodstv*, T. 51, no. 2, pp. 349-362.

17. V Novoj Zelandyy yzobreteny sensory spelosty, available at: <http://www.new-garbage.com/?id=5132&page=5&part=45/>.

18. Vanderroost, M., Ragaert, P., Devlieghere, F. and Meulenaer, B. D. (2014), Intelligent food packaging: The next generation, *Trends in Food Science & Technology*, no. 39, pp. 47-62.

19. Smart packaging – «umnaia» upakovka, available at: http://www.newchemistry.ru/letter.php?n_id=654.

Стаття надійшла до редакції 28.12.2021