

УДК 620.165.29:620.179.16, 621.798.08

КОНТРОЛЬ ГЕРМЕТИЧНОСТІ УПАКОВОК МОЛОЧНИХ ПРОДУКТІВ**І. П. ЗАВАЛЬНЮК**

Кафедра технологій переробки та зберігання с.-г. продукції, Херсонський державний аграрний університет, Херсон, УКРАЇНА
email: zavalnyukinna@rambler.ru

АНОТАЦІЯ В статті наголошується на важливості та необхідності контролю герметичності упаковок з метою збереження якості молочної продукції. Виконаний детальний огляд найбільш розповсюджених систем неруйнівного контролю герметичності тари молочних продуктів. В роботі акцентується увага на високій ефективності та функціональності акустичних методів дефектоскопії харчових контейнерів з продуктами. Запропоновано структуру і функціональну схему установки ультразвукового сканування герметичних упаковок молочних продуктів. Розглянутий математичний апарат акустичної голографії, як одного з методів отримання акустичних зображень.

Ключові слова: неруйнівний контроль герметичності, дефекти упаковок, візуально-оптичні системи дефектоскопії, ультразвукове сканування, акустична голографія.

АННОТАЦИЯ В статье отмечается важность и необходимость контроля герметичности упаковок с целью сохранения качества молочной продукции. Выполнен подробный обзор наиболее распространенных систем неразрушающего контроля герметичности тары молочных продуктов. В работе акцентируется внимание на высокой эффективности и функциональности акустических методов дефектоскопии пищевых контейнеров с продуктами. Предложена структура и функциональная схема установки ультразвукового сканирования герметичных упаковок молочных продуктов. Рассмотрен математический аппарат акустической голографии, как одного из методов получения акустических изображений.

Ключевые слова: неразрушающий контроль герметичности, дефекты упаковок, визуально-оптические системы дефектоскопии, ультразвуковое сканирование, акустическая голография.

TESTING OF SEALING OF DAIRY PRODUCTS PACKAGES**I. ZAVALNIUK**

Department of «Processing And Storage of Agricultural Products», Kherson State Agricultural University, Kherson, UKRAINE

ABSTRACT A wide range of packaging materials and containers for dairy products makes high requirements for mechanical strength and sealing of packages. The importance and necessity of testing packaging in order to keep the quality of dairy products is emphasized in the article. Made a detailed overview of the most widespread visually-optical systems of defectoscopy packaging – Ishida IX-GA-B3043, HEUFT pakCheck, BBULL SEAMAGE/CW/X. The aim of the article is to determine the feasibility and evaluate the efficiency of the ultrasonic method for monitoring the sealing of packaging of dairy products in a production environment. The paper focuses on the efficiency and functionality of the ultrasonic defectoscopy methods of food containers with products. Application of BAI-technology (Backscattered Amplitude Integral) constructing acoustic imaging allows to reveal defects the joint hermetically soldered of plastic packages to 38 microns. The structure and functional scheme of installation ultrasound scanning sealed packages of dairy products that can be integrated into the production line flow are proposed. For the processing and storage of testing results, and imaging of the defect with a high resolution is expedient to use the method of acoustic holography is stressed. The mathematical apparatus of acoustic holography - Fourier transform, is considered. Thus, the acoustic ultrasound scan allows you to define, research of sealing and reliability of joints materials reveal heterogeneity, the presence of delimitations and explore volume and structural defects of various materials. Moreover, for testing of sealing and defects bottled milk products should be used to visually-optical method, for inspection and the monitoring of plastic, polyethylene, or multilayer film packaging is effective acoustic ultrasound scan.

Keywords: non-destructive testing of sealing, defects of packaging, visually-optical inspection systems, ultrasound scan, acoustic holography.

Вступ

За останні роки у більшості країн розроблений і освоєний промисловий випуск широкого асортименту пакувальних матеріалів, закупорювальних засобів і споживчої тари для молочних продуктів різної консистенції, функціонального призначення, термінів зберігання і реалізації. Наприклад, молоко розливають в пакети з поліетиленових або багатошарових плівок, сир фасують у вакуумну

упаковку, кисломолочні продукти в пакети з комбінованих матеріалів на основі картону або термоформованої упаковки з полістиролу і поліпропілену, молочні консерви розливають у банки з білої жерсті [1, 2, 3].

Вимоги до упаковки молочної продукції у багатьох аспектах жорсткіші, ніж для інших харчових продуктів, а саме [4]:

- 1) висока механічна міцність;

2) високий ступінь герметичності (непроникність і стійкість до дії мікроорганізмів, максимальні водо-, газо-, паро- і ароматонепроникність, висока теплостійкість);

3) жорсткість або еластичність залежно від функціонального призначення упаковки, виду фасувально-пакувального устаткування;

4) стійкість до старіння;

5) низька світлонепроникність, що обумовлює захисні властивості пакувальних матеріалів;

6) інертність по відношенню до продукту і відсутність виділення шкідливих для здоров'я людини речовин.

Герметичність пакувальної тари зазвичай забезпечується кришками з основного матеріалу, підвищена герметичність – фольгою з термоадгезійним покриттям або висічками під термозварювання із даного матеріалу.

В процесі закупорювання молочних продуктів можливе виникнення наступних дефектів: зрушення, зминання або ушкодження фольги ущільнювача, перекіс кришок, попадання в шов упаковки залишків продукту, порушення міцності і щільності зварного шва полімерної і комбінованої упаковки, що порушує герметичність і викликає можливість протікань.

Проведення дефектоскопії герметичних упаковок молочних продуктів має важливе значення в цілях збереження якості та безпечності продуктів впродовж терміну зберігання. Найбільш відомими системами неруйнівного контролю герметичності тари молочних продуктів нині є наступні:

1) система рентгенівського контролю Ishida IX-GA-B3043 [5], яка здатна виявляти найдрібніші частинки металу, скла, пластика і гуми в різній бутильованій молочній продукції. Устаткування оснащено автоматичним контролем позиціонування продукту з певним кроком на стрічці подання. Ця система може бути вбудована у виробничу поточкову лінію;

2) оптична система контролю HEUFT pakCheck [6] призначена для контролю контейнерів Тетра-Пак. Вона визначає невеликі витоки розміром в 0,09 мм² у верхньому шві закупорювання або в області закупорки; відхилення від висоти рівня наливання в 2 мм визначаються з точністю в 99%; машина визначає незначні відхилення (у 2 мм) позиції закупорки в горизонтальному/вертикальному положенні з точністю 99%; здійснює зчитування коду для контролю дати терміну придатності з точністю 99,9%; відбраковує контейнер з дефектом на виробничих швидкостях до 72000 конт/год;

3) автоматична система контролю BBULL SEAMAGE/CW/X [7], яка завдяки оптичному випромінюванню здійснює перевірку герметичності вакуумних упаковок з продуктами в умовах виробництва. Ця система контролює наявність залишків продукту на шві упаковки; визначає наповненість контейнера до 0,1 г; перевіряє чужорідні тіла в упаковці, а саме, скло (>2мм³), метал (>1мм³),

пластик; сканує наявність етикетки і штрих-коду на коректність нанесеної інформації, а також дати виробництва і термінів придатності продукту.

Отже, найпоширеніші перераховані системи мають принцип дії заснований на використанні радіаційного і візуально-оптичного методів дефектоскопії [8], які відрізняються високою чутливістю і можливістю проведення безперервного контролю у виробничих умовах. Проте у разі використання рентгенівського випромінювання обов'язкова наявність додаткових захисних фіранок оглядової камери. Застосування ж візуального контролю має наступні обмеження: за технологічністю – візуальний доступ, зазвичай потрібно спеціальні оптичні засоби; за розшифровкою – необхідне додаткове використання інших методів контролю для розпізнавання, виявлення і вимірювання дефектів.

Мета роботи

Великий інтерес представляє визначення технічної можливості і оцінювання ефективності застосування ультразвукового методу контролю герметичності упаковок молочних продуктів в умовах виробництва.

Викладення основного матеріалу

Ультразвукова дефектоскопія використовує пружні хвилі (подовжні, зсувні, поверхневі, нормальні, вигинисті) широкого УЗ-діапазону [9]. Пружні хвилі випромінюються у безперервному або імпульсному режимі і вводяться у виріб за допомогою п'єзоелектричного або електромагнітоакустичного перетворювача, що збуджується генератором електромагнітних коливань. При поширенні в матеріалі виробу, пружні хвилі затухають в різному ступені, а зустрічаючи дефекти (порушення суцільності або однорідності матеріалу), відбиваються, заломлюються і розсіюються, змінюючи при цьому свою амплітуду, фазу та інші параметри. Приймають їх тим же або окремим перетворювачем і після відповідної обробки сигнал подають на індикатор або записуючий пристрій.

Використання ультразвуку з метою підвищення якості контролю перевірки цілісності герметизації харчових контейнерів з продуктами пропонується авторами [10]. Спосіб полягає в скануванні, уздовж сполучної зони, променем послідовності імпульсів ультразвукової енергії. Після прийому послідовності відбитих імпульсів визначають похідну за часом однієї затримки за часом і амплітуди вказаної прийнятої послідовності імпульсів. Далі формують сигнал, що відображає якість герметичного з'єднання уздовж вказаної сполучної зони за допомогою порівняння, однієї з вказаних похідних за часом із заздалегідь заданим пороговим значенням, відділяють вказаний контейнер, якщо індикативний сигнал

відображає порушення з'єднання уздовж вказаної сполучної зони. Важливо, щоб передавана послідовність імпульсів не накладалася на відбиту і прийняту послідовність імпульсів. Для цього ультразвуковий промінь направляють під кутом $10^\circ \leq \alpha \leq 18^\circ$ відносно нормалі до сполучної зони. Обов'язковий водяний прошарок між сполучною зоною і передавачем/приймачем, для чого контейнер з передавачем/приймачем занурюють у водяну ванну або локально створюють місток з рідини за допомогою нанесення води на сполучну зону і всмоктування рідини із сполучної зони відразу ж після сканування такої зони.

Автори акцентують увагу, що часто контур сполучної зони контейнерів не буває ідентичним для усіх контейнерів даного типу, наприклад, внаслідок виробничих допусків. Тому передбачений варіант відстежування контура сполучної зони, після чого відбувається автоматичне керування рухом передавача/приймача відносно траєкторії сполучної зони (рис. 1).

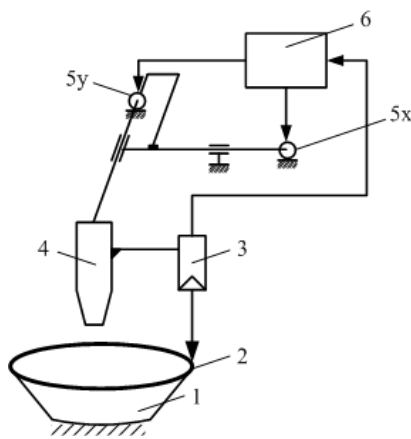


Рис. 1 – Схематичне представлення дії пристрою ультразвукової дефектоскопії із скануванням форми сполучної зони: 1 – харчовий контейнер; 2 – сполучна зона; 3 – слідкувальна голівка; 4 – передавач/приймач; 5x і 5y – приводи, що керують рухом передавача/приймача в напрямках x/y; 6 – блок керування.

Одним з ефективних акустичних методів неруйнівного контролю герметичності пакувань та дефектів різних матеріалів є ультразвукове сканування виробів. Можна виділити два основні режими сканування [11, 12]:

1) режим «сигнал-ехо», коли працює лише один перетворювач. На основі інформації про амплітуду, фазу і час прийому відбитої хвилі піксель за пікселем будується зображення сканованої ділянки;

2) «наскрізний режим», використовує два перетворювача. Один з них знаходиться під досліджуванним зразком і має можливість приймати ультразвукові хвилі, що пройшли крізь зразок. При отриманні зображення в цьому режимі результат має

більш високу якість сканування за рахунок використання ще одного перетворювача.

Зображення, що отримується на основі цих методів, будується попіксельно і порядково.

Значний розвиток ультразвукова дефектоскопія гнучких пластикових герметичних упаковок харчових продуктів отримала завдяки співпраці членів науково-дослідних лабораторій Packaging Laboratory і Bioacoustics Research Laboratory в Університеті штату Іллінойс в Urbana-Champaign. Доведено [13, 14], що застосовуючи BAI (Backscattered Amplitude Integral) технологію побудови зображень можливе виявлення дефектів стику герметично паяних пластикових пакетів до 38 мкм (для порівняння межа візуальних методів 50 мкм) з використанням сферично фокусувального трансд'юсера на частоті 17,3 МГц.

Створення акустичного зображення і, зокрема, контрасту між різними областями усередині зразка відбувається завдяки різниці щільності його ділянок. На рис. 2. представлений результат зигзагоподібного сканування пакетованого продукту. Вертикальна чорна область розміром близько 25,5 мм показує канал дефекту, а пунктирна лінія зображує траєкторію переміщення випромінювача. Кроки сканування по осях абсцис і ординат $x_{step} = 0,25$ мм і $y_{step} = 0,5$ мм, відповідно.

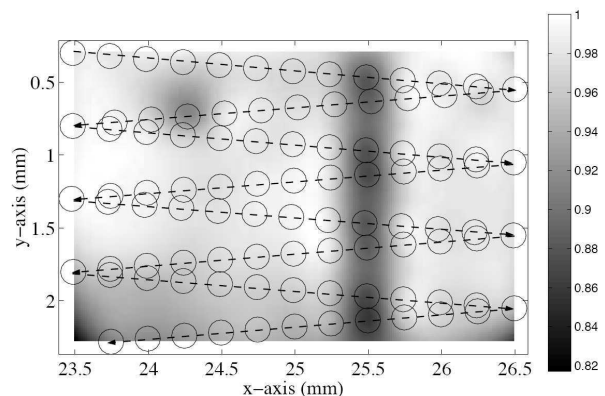


Рис. 2 – Зображення 2D-сканування зразка за BAI-технологією

Таким чином, ультразвукові хвилі дуже чутливі до змін і неоднорідностей середовища при їх проходженні крізь зразок, в першу чергу це стосується щільності та еластичності матеріалу.

На рис. 3 представлена функціональна схема запропонованої установки контролю герметичності упаковок молочних продуктів, яка може бути інтегрована в поточкову виробничу лінію.

Після того, як пластикові ємності або поліетиленові багат шарові пакети заповнюються продуктом і закупорюються відповідним способом, вони за допомогою конвеєра поступають у водяну ванну, де відбувається ультразвукове сканування для визначення негерметичності, порушення з'єднань або стиків з отриманням зображення поверхні.

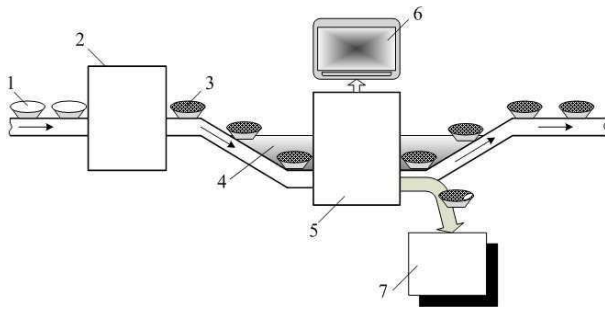


Рис. 3 – Функціональна схема установки ультразвукового контролю герметичності упаковок молочних продуктів: 1 – незаповнена тара; 2 – апарат фасування і закупорювання тари; 3 – заповнені продуктом і закупорені ємності; 4 – ванна з водою; 5 – ультразвуковий дефектоскоп; 6 – дисплей; 7 – збір відбракованих виробів.

Ємності, у яких виявлений дефект сполучного шва видаляються з потоку з видачею інформації про місце дефекту. Упаковки, що пройшли перевірку по транспортеру, після обсушування, спрямовуються для подальших операцій відповідно до технологічного процесу.

Для отримання акустичного зображення доцільно використовувати когерентний метод – акустичну голографію, оскільки системи, що реалізують даний метод, дозволяють формувати зображення дефектів з високим розділенням, проводити додаткову обробку первинних даних і отриманого зображення для покращення його якості, здійснювати документування, зберігання результатів контролю та їх відображення в будь-якому зручному для оператора вигляді. Все це можливо завдяки вимірюванню фазової, амплітудної і часової характеристик реєстрованого акустичного поля після його взаємодії з дефектом.

Зазвичай акустичне поле вимірюється приймачами, які забезпечують його лінійну реєстрацію, а саме, реєстрацію амплітуди, що дозволяє використовувати різні методи цифрової обробки даних для побудови зображення.

Одним із методів числового відновлення зображення є метод оберненої хвилі. Нехай у двовимірній площині xz акустичне поле $U(x, z)$, розсіюється дефектом, який розташований на глибині z . Тоді перетворювач, що пересувається вздовж осі x по поверхні вводу, буде реєструвати поле $U(x, 0)$.

Фур'є-образ реєстрованого поля можна записати у вигляді [15]:

$$F[U(x, 0)] = \int U(x, 0) \exp(jk_f x) dx,$$

а у виді спектру плоских хвиль:

$$B(x, y) = \exp[jk(\alpha x + \gamma z)],$$

де F – пряме одновимірне перетворення Фур'є; $k = 2\pi/\lambda$ – хвильове число; $f_x = 1/\lambda \sin \theta_x$; $\alpha = \lambda f_x$ і $\gamma = \sqrt{1 - \alpha^2}$ – напрямні косинуси; θ_x – максимальний кут, під яким видно з поверхні дефекту область переміщення перетворювача. Ця область визначається шириною діаграми спрямованості перетворювача і доступна для сканування зоною на поверхні вводу об'єкта контролю. Після використання рівняння Гельмгольца для спектру на другій лінії, можна отримати:

$$F[U(x, z)] = F[U(x, 0)] \exp(jkz\sqrt{1 - \alpha^2}), \quad (1)$$

тобто поширення хвилі в напрямку z проявляється у відносних фазових відмінностях складових (1).

Отже, вираз який визначає зображення дефекту можна визначити із (1), як модуль амплітуди розсіяного поля на лінії дефекту z_d :

$$|U(x, z_d)| = \left| F^{-1} \left\{ F[U(x, 0)] \exp(jkz_d\sqrt{1 - \alpha^2}) \right\} \right| \quad (2)$$

де F^{-1} – зворотне перетворення Фур'є.

Багатократне повторення алгоритму (2) для різних значень координати z дозволить отримати розподіл поля по всьому перетину. Такий алгоритм є широко використовуваним у голографічних системах. Причому, на практиці вимірювання проводять в дискретних точках, тому необхідно у розрахунках використовувати дискретне перетворення Фур'є, а для зменшення часу обробки – швидке перетворення Фур'є.

Обговорення результатів

Ультразвукове акустичне сканування є одним з найбільш функціональних методів неруйнівного контролю герметичності. Воно дозволяє вирішувати завдання у багатьох областях, наприклад:

- 1) визначення, дослідження герметичності і надійності стиків матеріалів;
- 2) неруйнівне і швидке дослідження об'ємних і структурних дефектів різних матеріалів;
- 3) виявлення неоднорідностей, різниці щільності, напружень і відшаровувань;
- 4) вимірювання товщини шару.

Причому оптимальним методом розпізнавання форми і розмірів дефекту засобами ультразвукового контролю необхідно вважати когерентні методи контролю, а саме комп'ютерну акустичну голографію. Оскільки в когерентних методах за рахунок додаткової обробки фазової, амплітудної і часової характеристик зареєстрованого акустичного поля можна отримати зображення неоднорідностей з високим розділенням, а відповідно, і визначити наявність порушення герметичності пакування з високою точністю.

Висновки

Проведений аналіз передових технологій контролю герметичних упаковок молочних продуктів показав, що використання візуально-оптичного методу дефектоскопії доцільне у разі випуску бутильованої молочної продукції.

Ефективнішим методом контролю герметичності пластикової, поліетиленової або багатощарової плівкової упаковки є ультразвукове акустичне сканування. Цей метод дозволяє визначити розшарування упаковки, наявність в шві залишків продуктів, порушення суцільності матеріалу, зміну положення фольги ущільнювача. Причому розмір визначуваного дефекту упаковки може складати близько 38 мкм.

Список літератури

- Український портал упаковочної отрасли [Електронний ресурс] – Режим доступу до сайту: <http://www.packaging.kiev.ua/>. – Назва з екрану.
- Компанія «Мир упаковки» [Електронний ресурс] – Режим доступу до сайту: <http://www.miru.ru/>. – Назва з екрану.
- Brody, A. L.** Packaging Milk and Milk Products, in Dairy Processing & Quality Assurance / **A. L. Brody**; ed R. C. Chandan // Wiley-Blackwell, Oxford, UK. – October, 2008.
- Сирохман, І. В.** Товарознавство пакувальних товарів і тари / **І. В. Сирохман, В. М. Завгородня**. – К.: Центр учбової літератури, 2009. – 616 с.
- IX-GA X-ray System. Technical Information [Електронний ресурс] – Режим доступу до сайту: http://www.ishidaeurope.com/our-products/Ishida_xray_inspection-systems/. – Назва з екрану.
- HEUFT pakCheck. HEUFT SYSTEMTECHNIK GMBH [Електронний ресурс] – Режим доступу до сайту: <http://www.heuft.com/>. – Назва з екрану.
- BBULL SEAMAGE/CW/X. INSPECTION POSSIBILITEIS [Електронний ресурс] – Режим доступу до сайту: <http://www.bbull.com/>. – Назва з екрану.
- Shuangyang, Z.** Fast Inspection of Food Packing Seals Using Machine Vision / **Z. Shuangyang** // *Digital Manufacturing and Automation (ICDMA)*. – 2010. – №1. – P. 724-726.
- Неразрушающий контроль: справочник в 7 т. / [под общ. ред. **В. В. Клюева**]. – М.: Машиностроение, 2004. – Т.3: Ультразвуковой контроль / **И. Н. Ермолов, Ю. В. Ланге**. – 2004. – 864 с.
- Пат. 2326378** Российская Федерация, МПК G01N 29/04. Способ и устройство для изготовления и ультразвуковой дефектоскопии соединительной зоны герметизированных контейнеров для пищевых продуктов / **Штек Юрген** (DE), **Леманн Мартин** (CH), **Ример Карстен** (DE); патентообладатель Леманн Мартин (CH) – № 2005116310/28; заявл. 31.10.2002; опубл. 10.06.2008, Бюл. №16.
- Ozguler, A.** Food Package Inspection by Ultrasonic Imaging / **A. Ozguler, S. A. Morris, W. D. O'Brien** // *National Food Processors Association Journal*. – 2000. – February, №2. – P. 20-22.
- Adams, T.** Non-destructive acoustic micro imaging of package seals / **Tom Adams** // *Sealing Technology*. – 2000. – April, Issue 76. – P. 7-9.
- Frazier, C. H.** High-contrast ultrasound images of defects in food package seals / **C. H. Frazier, Q. Tian, A. Ozguler, S.A. Morris, W.D. O'Brien** // *Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, IEEE Transactions on*. – 2000. – № 47(3). – P. 530-539.
- Xiangtao Yin.** The Study of Ultrasonic Pulse-Echo Subwavelength Defect Detection Mechanism / **Yin Xiangtao** // *Ph.D. Thesis*. – University of Illinois at Urbana-Champaign, 2003. – 116 p.
- Ермолов, И. Н.** Расчеты в ультразвуковой дефектоскопии / **И. Н. Ермолов, А. Х. Вопилкин, В. Г. Бадалян**. – М.: ООО НПЦ НК «ЭХО+», 2004. – 108 с.
- Ukrainian portal packaging industry [Web] - Access to the site: <http://www.packaging.kiev.ua/>.
- The company "World of Packaging" [Web] - Access to the site: <http://www.miru.ru/>.
- Brody, A. L.** Packaging Milk and Milk Products, in Dairy Processing & Quality Assurance. *Wiley-Blackwell, Oxford, UK*, October, 2008.
- Sirokhman, I. V., Zavorodnya, V. M.** Commodity packaging products and packaging. Kiev: *Tsentr uchbovoi literaturi*, 2009, 616 p.
- IX-GA X-ray System. Technical Information [Web] – Access to the site: http://www.ishidaeurope.com/our-products/Ishida_xray_inspection-systems/.
- HEUFT pakCheck. HEUFT SYSTEMTECHNIK GMBH [Web] – Access to the site: <http://www.heuft.com/>.
- BBULL SEAMAGE/CW/X. INSPECTION POSSIBILITEIS [Web] – Access to the site: <http://www.bbull.com/>.
- Shuangyang, Z.** Fast Inspection of Food Packing Seals Using Machine Vision. *Digital Manufacturing and Automation (ICDMA)*, 2010, **1**, 724-726.
- Klyuyev, V. V., Yermolov, I. N., Lange, U. V.** Non-destructive testing: a reference book in 7 v.; V.3: Ultrasonic testing. Moscow: Mashinostroyeniye, 2004, 864 p.
- ShTEK Jurgen, Lemann Martin, Rimer Karsten** Method and device for fabrication and ultrasonic testing of connective zone of food sealed containers. **Patent 2326378** Russian Federation, Int. Cl. G01N 29/04; appl. 31.10.2002, publ. 10.06.2008. Bull. № 5.
- Ozguler, A.** Food Package Inspection by Ultrasonic Imaging. *National Food Processors Association Journal*, 2000, February, **2**, 20-22.
- Adams, T.** Non-destructive acoustic micro imaging of package seals. *Sealing Technology*, 2000, April, **76**, 7-9.
- Frazier, C. H.** High-contrast ultrasound images of defects in food package seals. *Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, IEEE Transactions on*, 2000, **47(3)**, 530-539.
- Xiangtao Yin.** The Study of Ultrasonic Pulse-Echo Subwavelength Defect Detection Mechanism. *Ph.D. Thesis. University of Illinois at Urbana-Champaign*, 2003, 116.
- Ermolov, I. N.** Calculations in the ultrasonic defectoscopy. Moscow: NPC NK «ECHO+», 2004, 108 p.

Bibliography (transliterated)

Надійшла (received) 22.10.2015