

Malaya Danilovka, Dergachevskiy region, Kharkov domain. Tel.: 0576357469, 0972481701; e-mail: bondarenco.tania@mail.ru.

**Рижкова Таїсія Миколаївна**, канд. техн. наук, доц., Харківська державна зооветеринарна академія, Адреса: смт. Мала Данилівка, Дергачівський район, Харківська обл., Україна, 62341. E-mail: rujkova@inbox.ru.

**Рижкова Таисия Николаевна**, канд. техн. наук, доц., Харьковская государственная зооветеринарной академия, Адрес: пгт. Малая Даниловка, Дергачевский район, Харьковская обл., Украина, 62341. E-mail: rujkova@inbox.ru.

**Ryzhkov Taisiya**, Candidate of technical sciences, Kharkovsky state zooveterinary academy. Address: smt. Small Danilivka, Dergachivsky district, Harkivskoi region; Ukraine, 62341. E-mail: rujkova@inbox.ru.

*Рекомендовано до публікації д-ром техн. наук Ф.В. Перцевим, д-ром вет. наук М.В. Чорним.*

*Отримано 1.08.2014. ХДУХТ, Харків.*

УДК 664.64.016.3

## **ВИЗНАЧЕННЯ СТРУКТУРНО-МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ**

**М.А. Чеканов, Г.В. Запаренко, Г.М. Лисюк,  
С.Г. Олійник, Т.С. Гейко**

*Розглянуто устаткування для визначення основних структурно-механічних характеристик харчових продуктів, його переваги та недоліки. Розроблено методику та запропоновано установку для визначення сили та граничного напруження різання, упровадження якої дозволяє скоротити процес отримання експериментальних даних, збільшити їх точність і дискретність.*

**Ключові слова:** *структурно-механічні характеристики, показники сили та граничного напруження різання.*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ**

---

© Чеканов М.А., Запаренко Г.В., Лисюк Г.М., Олійник С.Г., Гейко Т.С., 2014

**Н.А. Чеканов, А.В. Запаренко, Г.М. Лисюк,  
С.Г. Олейник, Т.С. Гейко**

*Рассмотрено оборудование для определения основных структурно-механических характеристик пищевых продуктов, его преимущества и недостатки. Разработана методика и предложена установка для определения силы и предельного напряжения резанья, внедрение которой позволит сократить процесс получения экспериментальных данных, увеличить их точность и дискретность.*

**Ключевые слова:** *структурно-механические характеристики, показатели силы и предельного напряжения резанья.*

## **MEASURING OF FOOD PRODUCTS' RHEOLOGICAL CHARACTERISTICS**

**M. Chekanov, G. Zaparenko, G. Lysiuk, S. Oliinyk, T. Geyko**

*Different equipment for measuring main rheological characteristics of food products as well as its strengths and shortcomings are discussed. Methodology for the measuring of the power and critical cutting stress is proposed. Rheological characteristics of different food products with the use of new methodology are investigated and compared statistically to the literature data concerning them. Introduction of new proposed equipment would contribute to the simplification of experimental data generation and increase its accuracy and discreteness. Further research would focus on the investigation of power and critical cutting stress for food products, raw materials and semi-products with different starting characteristics and various types of technological treatment.*

**Keywords:** *rheological characteristics, indexes of power and critical cutting stress.*

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** Розвиток харчових виробництв неможливий без створення нових і вдосконалення існуючих технологій, упровадження нової продукції. Під час технологічної обробки в харчових продуктах відбуваються фізико-хімічні процеси, які приводять до зміни багатьох властивостей цих продуктів, зокрема їх структурно-механічних параметрів. Дані про структурно-механічні характеристики харчових продуктів використовуються під час розробки науково обґрунтованих методів розрахунку обладнання, визначення граничних умов технологічних процесів, виявлення основних реологічних характеристик, необхідних для розрахунку та інтенсифікації технологічних процесів і оцінки якості продукції. До основних структурно-механічних характеристик харчових продуктів належить вимірювання сили та граничного

напруження різання, що необхідні для визначення оптимальних режимів технологічних процесів та оцінки якості харчових продуктів після обробки та під час зберігання.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Традиційно для вимірювання та оцінки структурно-механічних властивостей використовуються стандартні методики на приладах Большакова–Фоміна, Вернера–Брателера, приладі ПМ-3, призначеному для випробування на зріз ковбасних виробів. Поступальний рух до робочого органу передається від електродвигуна через редуктор або інший прилад для визначення структурної характеристики, ніжності м'яса, що вимірює зусилля зрізу зразка, який має певні розміри. Прилад обладнано ножем товщиною 1 мм. Тендерометр – це прилад, принцип дії якого засновано на імітуванні жування продукту зубами. Зразок досліджуваного продукту з розмірами перетину 12,7x6,35 мм стискається між нижнім нерухомим клином і верхнім рухомим клином. При цьому реєструється поступове наростання напруження під час поглиблення клинів до моменту їх зустрічі. Сектилометр дозволяє визначати консистенцію твердих і напівтвердих матеріалів. Робочий орган різання – це тонкий дріт, натягнутий на металевій рамі [1; 2]. Схожа за принципом дії та методикою установка запропонована науковцями з Національного університету харчових технологій, які для визначення ефективності термічної обробки зерна, що базується на вимірюванні зміни міцності зернівки в процесі замочування, використовують прилад ПБ-5058-0,04 в модифікації Строганова. Робочий орган – металева негнучка пластина [3]. Ученими Харківського державного університету харчування та торгівлі розроблено методику та створено установку для дослідження сили й граничного напруження різання, у якій різання забезпечується шляхом пересування ножа з черв'ячним редуктором і електроприводом. Вимірювання здійснюється динамометром годинникового типу [4; 5].

**Мета статті** – за допомогою розробленої методики та створеної установки для визначення сили та граничного напруження різання провести дослідження структурно-механічних характеристик харчових продуктів і перевірити як корелюють отримані експериментальні дані й дані, отримані з літературних джерел.

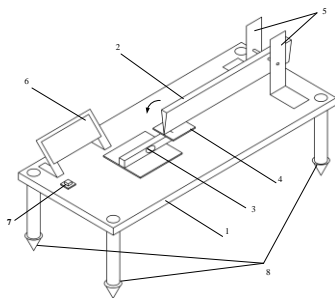
**Виклад основного матеріалу дослідження.** Основним завданням дослідження було створення сучасної універсальної установки для визначення структурно-механічних характеристик, яка мала б усі переваги своїх прототипів та дозволяла досліджувати харчові продукти різних видів. Як предмет дослідження використовувались: яловичина, оброблена та необроблена

ультразвуком, сухе та вологотермічно оброблене зерно пшениці та полби, банани, морква, картопля, ківі, лимони, яблука.

Дослідження методик та складу установок дозволило визначити притаманні їм недоліки. Наприклад, недоліками установки Большакова–Фоміна [1; 2] є значні габаритні розміри та складність конструкції, тривалість вимірювання, зумовлена витратами часу на пересипання, завантаження та зважування дробу. У разі тривалого використання приладу змінюються механічні характеристики системи важелів, що спричиняє зменшення точності отриманих даних.

Дослідження структурно-механічних характеристик на приладі ПБ-5058-0,04 в модифікації Строганова дозволили виявити значні розбіжності в показниках під час випробовування паралельних зразків, зумовлені зміною механічних характеристик кожної зернівки. Крім того, складно визначити межу прикладання навантаження під час вимірювання параметрів вологотермічно обробленого зерна [3].

Установка, розроблена харківськими вченими [4; 5], також має низку недоліків, а саме: складність конструкції, тривалість вимірювання, зміна механічних характеристик пружини з плином часу. Згідно з розробленою авторами методикою площа поперечного перерізу зразка має дорівнювати  $1 \text{ см}^2$ , що додає складності під час вимірювання характеристик неоднорідних харчових продуктів або зерна. У запропонованій нами установці значною мірою вдалося позбутися зазначених вище недоліків, її принципову схему подано на рисунку.



**Рис. Експериментальна установка для визначення сили та граничного напруження різання: 1 – станина; 2 – стальне лезо; 3 – тензобалка; 4 – предметний стіл; 5 – опори леза; 6 – цифровий дисплей; 7 – перемикач режимів вимірювання; 8 – опори станини**

Установка працює таким чином. На предметному столі 4, закріпленому на тензOMETричній балці 3, розташовується дослідний

зразок і фіксується сталеним лезом 2. За допомогою перемикача режимів вимірювання 7 подається живлення на установку та відбувається калібрування показників із тензометричної балки 3. На сталене лезо 2 подається навантаження, під дією якого зразок перерізається. Під дією навантаження сталене лезо 2 тисне на дослідний зразок, предметний стіл 4 та тензометричну балку 3. У тензометричних датчиках змінюється опір, значення якого обробляються аналогово-цифровим перетворювачем і подаються на цифровий дисплей 6. У момент перерізання зразка сталеним лезом замикається контактна група п'єзоелектричного генератора та подається звуковий сигнал.

Структурно-механічні властивості зерна характеризували за показником граничного напруження різання, що визначали за формулою

$$\sigma_{piz} = \frac{F}{S}, \quad (1)$$

де  $\sigma_{piz}$  – граничне напруження різання, Н/м<sup>2</sup>;  $F$  – сила різання, докладена до зернівки до її руйнування, Н;  $S$  – площа поперечного перерізу зернівки, м<sup>2</sup>.

Силу різання, докладену до зернівки до її руйнування, визначали за формулою

$$F = m \cdot g, \quad (2)$$

де  $m$  – маса вантажу, під тиском якого зерно руйнується, кг;  $g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>.

Площа поперечних перерізів зернівок м'якої пшениці та полби має вигляд досить складних фігур, проте для зручності розрахунку її знаходили за площею круга і визначали за формулою

$$s = \frac{\pi \cdot D^2}{4}, \quad (3)$$

де  $D$  – діаметр перерізу зернівки, м.

Отже, формула для знаходження граничного напруження різання має такий вигляд:

$$\sigma_{piz} = \frac{4 \cdot m \cdot g}{\pi \cdot D^2}. \quad (4)$$

Під час проведення експериментів на зразках із яловичини за методикою [4; 5] поперечний переріз зразків, що досліджували на установках, дорівнював 1см<sup>2</sup>. Результати досліджень наведено в табл. 1–4.

Таблиця 1

**Порівняння структурно-механічних показників м'яса, отриманих за різними методиками**

| Установка з визначення сили та напруження різання | Сорт м'яса       |                           |                  |                           |                  |                           |
|---|------------------|---------------------------|------------------|---------------------------|------------------|---------------------------|
|   | гомілка          |                           | пашина           |                           | шийна частина    |                           |
|   | $F_{різ}$<br>$H$ | $\sigma_{різ}$<br>$H/м^2$ | $F_{різ}$<br>$H$ | $\sigma_{різ}$<br>$H/м^2$ | $F_{різ}$<br>$H$ | $\sigma_{різ}$<br>$H/м^2$ |
| Контроль  |                  |                           |                  |                           |                  |                           |
| Прототип [4; 5]                                   | 73,6             | 7360                      | 61,8             | 6180                      | 52,4             | 5240                      |
| Розроблена  | 74,3             | 7430                      | 61,1             | 6110                      | 51,1             | 5110                      |
| Обробка ультразвуком протягом 15 хвилин           |                  |                           |                  |                           |                  |                           |
| Прототип [4; 5]                                   | 55,5             | 5550                      | 46,8             | 4680                      | 38,4             | 3840                      |
| Розроблена  | 55,0             | 5500                      | 47,2             | 4720                      | 37,8             | 3780                      |

Як видно з табл. 1, ультразвукова обробка впливає на величину сили та граничного напруження різання. Зменшення цих величин може свідчити про те, що збільшилась кількість вологи у м'ясі, відбулося пом'якшення сполучної тканини. Крім того, під дією ультразвукової обробки може відбуватися механічна дезагрегація колагену з одночасним утворенням глютину, який має більшу кількість гідрофільних груп, що може привести до збільшення здатності утримувати вологу. Зменшення величини вимірних показників не залежить від сорту м'яса, та добре корелюють між собою.

Під час дослідження структурно-механічних показників овочів та фруктів (табл. 2, 3) було визначено, що зберігання при температурі 20° С, призводить до зменшення величини показників сили та граничного напруження різання. Це пояснюється тим, що під час зберігання за зазначених умов частина вологи, яка міститься в овочах та фруктах, випаровуються. Розм'якшення відбувається за рахунок перебігу низки хімічних і біохімічних процесів, зокрема переходу протопектину в пектин, а також ферментативних перетворень. Зменшення міцності через два тижні зберігання більше виражене для ківі та бананів, ніж для моркви, картоплі та яблук. Міцність лимона протягом зберігання збільшується, що, імовірно, пов'язано з видаленням вологи. Отже, запропонована методика може використовуватись для експрес-визначення якості таких продуктів.

Таблиця 2

**Зміна структурно-механічних показників  
залежно від терміну зберігання**

| Лінійний показник               | Ківі           |                                      | Морква         |                                      | Картопля       |                                      |
|---------------------------------|----------------|--------------------------------------|----------------|--------------------------------------|----------------|--------------------------------------|
|                                 | $F_{різ}$<br>Н | $\sigma_{різ,2}$<br>Н/М <sup>2</sup> | $F_{різ}$<br>Н | $\sigma_{різ,2}$<br>Н/М <sup>2</sup> | $F_{різ}$<br>Н | $\sigma_{різ,2}$<br>Н/М <sup>2</sup> |
| Контроль                        |                |                                      |                |                                      |                |                                      |
| 1-ша третина                    | 61,09          | 31936                                | 28,58          | 69236                                | 30,04          | 19527                                |
| 2-га третина                    | 10,34          | 6626                                 | 32,90          | 73468                                | 31,75          | 18457                                |
| 3-тя третина                    | 21,69          | 14729                                | 30,65          | 76358                                | 36,59          | 25595                                |
| Зберігання протягом двох тижнів |                |                                      |                |                                      |                |                                      |
| 1-ша третина                    | 5,86           | 7356                                 | 15,92          | 55549                                | 48,40          | 35973                                |
| 2-га третина                    | 5,70           | 7454                                 | 18,18          | 50861                                | 18,90          | 15196                                |
| 3-тя третина                    | 2,59           | 17592                                | 23,71          | 48949                                | 15,05          | 13126                                |

Таблиця 3

**Зміна структурно-механічних показників  
залежно від терміну зберігання**

| Лінійний показник               | Банан          |                                      | Яблуко         |                                      | Лимон          |                                      |
|---------------------------------|----------------|--------------------------------------|----------------|--------------------------------------|----------------|--------------------------------------|
|                                 | $F_{різ}$<br>Н | $\sigma_{різ,2}$<br>Н/М <sup>2</sup> | $F_{різ}$<br>Н | $\sigma_{різ,2}$<br>Н/М <sup>2</sup> | $F_{різ}$<br>Н | $\sigma_{різ,2}$<br>Н/М <sup>2</sup> |
| Контроль                        |                |                                      |                |                                      |                |                                      |
| 1-ша третина                    | 24,86          | 27281                                | 43,43          | 16467                                | 43,41          | 13768                                |
| 2-га третина                    | 23,18          | 22015                                | 49,53          | 21782                                | 55,06          | 18376                                |
| 3-тя третина                    | 20,03          | 15119                                | 44,70          | 19202                                | 56,11          | 38671                                |
| Зберігання протягом двох тижнів |                |                                      |                |                                      |                |                                      |
| 1-ша третина                    | 12,02          | 9660                                 | 38,59          | 14961                                | 59,58          | 29230                                |
| 2-га третина                    | 9,93           | 7731                                 | 35,71          | 13104                                | 67,81          | 31282                                |
| 3-тя третина                    | 17,12          | 14685                                | 36,35          | 14248                                | 52,13          | 45469                                |

Дослідження структурно-механічних властивостей зерна здійснювали на зразках полби ярої сорту Голіковська та пшениці м'якої ярої сорту Харківська 30. Зерно замочували при температурі 20° С. У табл. 4 наведено середньостатистичний результат для 15 вимірювань.

Як видно з наведених вище даних, полба характеризується більшою початковою міцністю (твердістю), ніж пшениця, що пояснюється її більшою склоподібністю та наближенням за властивостями до твердої пшениці.

**Зміна структурно-механічних показників зерна  
під час замочування**

| Лінійний показник                                     | Полба            |                                   | Пшениця       |                                   |
|---|------------------|-----------------------------------|---------------|-----------------------------------|
|   | $F_{різ}$<br>$H$ | $\sigma_{різ}$ , Н/м <sup>2</sup> | $F_{різ}$ $H$ | $\sigma_{різ}$ , Н/м <sup>2</sup> |
| Контроль (сухе зерно)                                 |                  |                                   |               |                                   |
| діаметр зерна   | 16,91            | 3 443 858                         | 18,36         | 2 596 758                         |
| Зерно, замочене у воді при температурі 20° С протягом |                  |                                   |               |                                   |
| 3 год   | 13,85            | 3 060 947                         | 17,00         | 2 405 432                         |
| 8 год   | 5,46             | 1 206 616                         | 9,65          | 1 063 199                         |
| 15 год  | 4,73             | 1 046 311                         | 6,56          | 722 112                           |
| 24 год  | 3,13             | 902 585                           | 5,13          | 532 723                           |

Під час замочування міцність зернівок істотно зменшується, причому інтенсивність її спаду для полби є більш вираженою, що, імовірно, пов'язано з меншими розмірами полби в поперечному перерізі порівняно з пшеницею. Це створює передумови для більш швидкого перерозподілу вологи в ендоспермі, що зумовлює зменшення міцності зерна внаслідок розпушення його структури, активації ферментних систем тощо.

**Висновки.** Створено сучасну універсальну установку для визначення структурно-механічних характеристик харчових продуктів. Результатами досліджень підтверджено наявність кореляції між експериментальними даними, отриманими на різних установках. Запропонований нами експрес-метод дозволяє швидко отримати експериментальні дані для визначення впливу різноманітних чинників (технологічної обробки, зберігання тощо) на структурно-механічні показники харчових продуктів. Подальші дослідження в цьому напрямі дозволять одержати нові дані та кореляції для визначення якості харчових продуктів під час їх перетворень у технологічних процесах і протягом терміну зберігання.

**Список джерел інформації / References**

1. Реометрия пищевого сырья и продуктов : справочник / под ред. Ю. А. Мачихина. – М. : Агропромиздат, 1990. – 271 с.

*Rheometry of raw materials and food products (1990) [Reometriya pishevoogo syrya i produktov]*, edited by Yu. A. Machikhin, Moscow, 271 p.



2. Кузнецов О. А. Реология пищевых масс : учеб. пособие / О. А. Кузнецов, Е. В. Волошин, Р. Ф. Сагитов. – Оренбург : ГОУ ОГУ, 2005. – 106 с.  
Kuznetsov, O.A., Voloshyn, E.V., Sagitov, R.F. (2005), *Rheology of food mixtures [Reologia pishevykh mas]*, Orenburg, 106 p.

3. Махинько В. М. Новый метод визначення ефективності гідротермічного оброблення зерна для виробництва зернового хліба / В. М. Махинько // Наукові праці НУХТ. – 2008. – № 25. – С. 70–72.

Makhinko, V.M. (2008), “New method of the determination of the efficiency of the hydrothermal processing of grain for whole grain bread production” [Novyi metod vyznachennia efektyvnosti hidrotermichnogo obrobлення zerna], *Scientific letters of NUKhT*, No. 25, pp. 70-72.

4. Пат. 48064 U Україна, МПК G01B 9/00. Пристрій для вимірювання сили різання / Постнов Г. М., Чеканов М. А., Червоний В. М. ; заявник та патентовласник ХДУХТ. – № u200907855 ; заявл. 27.07.09 ; опубл. 10.03.10, Бюл. № 5. – 4 с.

Postnov, G.M., Chekanov, M.A., Chervonyi, V.M. (2010), Tool for cutting stress measuring: pat. of Ukraine [Prystriy dlia vymiryuvannia syly rizannia], KhSUFT.

5. Дейниченко Г. В. Безвідходна переробка м'яса з високим вмістом сполучної тканини з використанням ультразвуку : монографія / Г. В. Дейниченко, Г. М. Постнов, М. А. Чеканов, В. М. Червоний, Д. А. Нечипоренко. – Харків : ФАКТ, 2012. – 210 с.

Deynychenko, G.V., Postnov, G.M., Chekanov, M.A., Chervonyi, V.M., Nechiporenko, D.A. (2012), *The waste-free processing of meat with high the content of connective tissue with the use of ultra-sound [Bezvidkhodna pererobka miasa]*, Kharkiv, 210 p.

**Чеканов Микола Анатолійович**, канд. техн. наук, доц., кафедра фізики та енергетики, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. Тел.: (057)349-45-00.

**Чеканов Николай Анатольевич**, канд. техн. наук, доц., кафедра фізики и энергетики, Харьковский государственный университет питания и торговли. Адрес: ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051. Тел.: (057)349-45-00.

**Chekanov Mykola**, Ph.D., Associate Professor, Department of physics and energetics, Kharkiv State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkivska Str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051. Tel.: (057) 349-45-00.

**Запаренко Ганна Володимирівна**, асп., кафедра технології хліба, кондитерських, макаронних виробів та харчоконцентратів, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. Тел.: (057)349-45-39.

**Запаренко Анна Владимировна**, асп., кафедра технологии хлеба, кондитерских, макаронных изделий и пищекопцентратов, Харьковский государственный университет питания и торговли. Адрес: ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051. Тел.: (057)349-45-39.

**Zaparenko Ganna**, Ph.D. student, Department of bread production technology, Kharkiv State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkivska Str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051. Tel.: (057)349-45-39.

**Лисюк Галина Михайлівна**, д-р техн. наук, проф., кафедра технології хліба, кондитерських, макаронних виробів та харчоконцентратів, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. Тел.: (057) 349-45-39.

**Лисюк Галина Михайловна**, д-р техн. наук, проф., кафедра технологии хлеба, кондитерских, макаронных изделий и пищекопцентратов, Харьковский государственный университет питания и торговли. Адрес: ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051. Тел.: (057)349-45-39.

**Lysiuk Galina**, Doctor of Science, Professor, Department of bread production technology, Kharkiv State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkivska Str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051. Tel.: (057)349-45-39.

**Олійник Світлана Георгіївна**, канд. техн. наук, доц., кафедра технології хліба, кондитерських, макаронних виробів та харчоконцентратів, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. Тел.: (057) 349-45-39.

**Олейник Светлана Георгиевна**, канд. техн. наук, доц., кафедра технологии хлеба, кондитерских, макаронных изделий и пищекопцентратов, Харьковский государственный университет питания и торговли. Адрес: ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051. Тел.: (057) 349-45-39.

**Oliinyk Svitlana**, Ph.D., Associate Professor, Department of bread production technology, Kharkiv State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkivska Str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051. Tel.: (057) 349-45-39.

**Гейко Тетяна Сергіївна**, студ., Навчально-науковий інститут харчових технологій і бізнесу, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051.

**Гейко Татьяна Сергеевна**, студ., Учебно-научный институт пищевых технологий и бизнеса, Харьковский государственный университет питания и торговли. Адрес: ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051.

**Geyko Tetiana**, student, Department of cereal technologies, Kharkiv State University of FoodTechnology and Trade. Address: Klochkivska Str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051.

*Рекомендовано до публікації д-ром техн. наук В.М. Михайловим.*

*Отримано 1.08.2014. ХДУХТ, Харків.*