

*Досліджено реологічні властивості бісквітного тіста. Показано вплив екструдованого кукурудзяного борошна на в'язкість бісквітного тіста та його властивості. Встановлено здатність екструдованого кукурудзяного борошна до стабілізації в'язкості бісквітного тіста. Дослідження вологи в експериментальних зразках показує, що із збільшенням кількості екструдованого кукурудзяного борошна відбувається зменшення рухливості молекул води та підвищення вологозв'язуючої здатності тіста*

*Ключові слова: екструдоване кукурудзяне борошно, бісквітний напівфабрикат, реологічні показники, ядерно-магнітний резонанс*

*Исследованы реологические свойства бисквитного теста. Показано влияние экструдированной кукурузной муки на вязкость бисквитного теста и его свойства. Установлена способность экструдированной кукурузной муки к стабилизации вязкости бисквитного теста. Исследование воды в экспериментальных образцах показывает, что с увеличением количества экструдированной кукурузной муки происходит уменьшение подвижности молекул воды и повышения водосвязывающей способности теста*

*Ключевые слова: экструдированная кукурузная мука, бисквитный полуфабрикат, реологические показатели, ядерно-магнитный резонанс*

УДК 664.681.2

DOI: 10.15587/1729-4061.2016.65732

# ДОСЛІДЖЕННЯ РЕОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ БІСКВІТНОГО ТІСТА З ВИКОРИСТАННЯМ ЕКСТРУДОВАНОГО КУКУРУДЗЯНОГО БОРОШНА

**Т. О. Лісовська**  
Аспірант\*

E-mail: lisowscka.t@yandex.ua

**Н. В. Чорна**

Кандидат технічних наук, доцент\*

E-mail: leodaisy@mail.ru

**О. Г. Дьяков**

Кандидат технічних наук, доцент\*\*

\*Кафедра технології харчування\*\*\*

\*\*Кафедра фізико-математичних та інженерно-технічних дисциплін\*\*\*

\*\*\*Харківський державний

університет харчування та торгівлі

вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051

## 1. Вступ

Пріоритетна роль в розробці та створенні інноваційних продуктів харчування належить хлібобулочним та борошняним кондитерським виробам, як найпоширенішим харчовим продуктам, що вживаються всіма групами населення [1].

Борошняні кондитерські вироби посідають вагоме місце у щоденному раціоні людини, оскільки займають найбільшу частку ринку України, а саме 42 % від загального виробництва кондитерських виробів. Бісквітний напівфабрикат найчастіше використовується у масовому виробництві тортів та тістечок і за обсягом виробництва займає 11 % від загального об'єму ринку борошняних кондитерських виробів [2].

Для виготовлення борошняних кондитерських виробів підприємства харчової промисловості традиційно використовують хлібопекарське пшеничне борошно вищого сорту, високий технологічний потенціал якого в деяких видах кондитерського тіста, зокрема бісквітному, задіяний не завжди раціонально через те, що передбачається спрямоване зниження "сили" борошна. До того ж, технології кондитерських виробів не висувають суворих вимог до білості борошна, оскільки рецептурні складові містять харчові барвники та смакові добавки, здатні суттєво впливати на органолептичні

показники готової продукції. Розширення асортименту борошняної сировини за рахунок виявлення альтернативних джерел, що здатні частково або повністю замінити пшеничне борошно з метою раціонального його використання в хлібопекарській промисловості, є актуальним, що підтверджено рядом досліджень [3].

Сприяє розвитку даної тенденції також те, що альтернативні види борошна різних зернових і злакових культур не містять клейковинних білків, наявність великої кількості яких негативно впливає на структуру бісквітного тіста. Відомо, що для приготування бісквіту рекомендовано використовувати пшеничне борошно зі слабкою чи середньою за якістю клейковиною [4], в протилежному випадку м'якуш буде щільним зі слаборозвиненою пористістю. Одним з можливих рішень даного питання є використання екструдованого кукурудзяного борошна, яке має хороші смакові й ароматичні якості, що можуть бути застосовані у технологіях бісквітних напівфабрикатів.

## 2. Аналіз літературних даних та постановка задачі

Бісквітний напівфабрикат – пишний, легкий, дрібнопористий, з м'якою еластичною м'якушкою кондитерський виріб, який отримують збиванням

ячного меланжу з цукром, перемішуванням збитої маси з борошном і наступним випіканням отриманого тіста.

Одним з найважливіших показників бісквітного тіста, як пінної системи, є наявність певної в'язкості вихідного розчину. Висока структурна в'язкість визначає механічну міцність тіста, тобто створює пружний каркас, що надає системі певні фізико-хімічні властивості твердого тіла. Стабільність дисперсної системи, якою є бісквітне тісто, у великій мірі зумовлена в'язкістю вихідних розчинів і стійкістю їх до дії навантажень. Під час замішування бісквітного тіста, одним з водопоглинальних чинників виступає клейковина пшеничного борошна [5].

Аналіз досліджень із заміни пшеничного борошна до 25 % на горохове борошно, в технології бісквітних напівфабрикатів показує, що найінтенсивніше воду в системі тіста поглинає крохмаль [6]. У технології виробництва безглютенових хлібобулочних виробів досліджено водопоглинальну здатність та консистенцію тіста із борошняних сумішей на основі рисового борошна і встановлено, що додавання кукурудзяного крохмалю сприяє покращенню вологоутримуючої здатності безглютенового тіста та формуванню необхідної консистенції [7]. Також встановлено, що додавання екструдованого кукурудзяного крохмалю в кількості 9–12 % до безглютенового тіста приводить до збільшення в'язкості тіста та збільшення об'єму готової виробу на 12 % [8, 9]. Підвищенню водопоглинальної здатності пшеничного тіста сприяє також додавання висівку, але одночасно призводить до зменшення показника розтяжності. Встановлено, що найкращий готовий виріб отриманий шляхом введення до 30 % вівсяних або до 20 % ячмінних висівку [9, 10].

За результатами описаних досліджень робимо висновок, що введення екструдованого кукурудзяного борошна (ЕКБ) може змінити стійкість системи, тому виникла необхідність в дослідженні залежності ефективної в'язкості зразків бісквітного тіста з різною концентрацією ЕКБ від швидкості та дотичної напруги зсуву.

На думку авторів [11], технологічні властивості дисперсних систем характеризуються перш за все їх реологічними властивостями. Вивчення структурно-механічних властивостей високомолекулярних систем дає можливість охарактеризувати їх поведінку під дією навантаження і швидкості, що впливають на модельні системи, тому має велике практичне значення.

Показник в'язкості тісно пов'язаний із вологоутримуючою здатністю бісквітного тіста, тому виникла необхідність дослідження стану вільної та зв'язаної води в бісквітному тісті в залежності від вмісту ЕКБ.

Доведено, що значний вплив на зв'язування води в бісквітному тісті можуть здійснювати гідроколоїди, тобто полісахариди, однією з функцій яких є вологоутримуюча здатність [12]. В пінній системі бісквітного тіста застосування гідроколоїдів сприятиме стабілізації піни. Все частіше в якості гідроколоїдів використовують модифіковані методом екструзії крохмалепродукти, зокрема ЕКБ, яке містить до 85 % крохмалю [13].

### 3. Мета і завдання дослідження

Метою дослідження було виявлення впливу використання ЕКБ на реологічні показники бісквітного тіста за умов механічного впливу, а також дослідження впливу додавання ЕКБ на співвідношення стану вільної та зв'язаної води в ньому.

Для досягнення поставленої мети були сформувані наступні завдання:

- дослідити залежність впливу вмісту ЕКБ на в'язкість бісквітного тіста;
- вивчити вплив додавання ЕКБ на динаміку змін реологічних властивостей бісквітного тіста за допомогою реологічних кривих залежності напруги зсуву від швидкості зсуву;
- дослідити залежність додавання ЕКБ на співвідношення стану вільної і зв'язаної води в бісквітному тісті;
- обґрунтувати доцільність використання ЕКБ в технології бісквітного напівфабрикату.

### 4. Матеріали і методи дослідження

В якості об'єктів дослідження обрано бісквітні напівфабрикати – основний (контроль) та з використанням ЕКБ у наступних співвідношеннях з пшеничним борошном вищого ґатунку (ПБ) ЕКБ:ПБ – 5:95 %, 10:90 %, 15:85 %, 20:80 %, 50:50 %. Дослідження проводили за допомогою приладу «Реотест-2» у діапазонах швидкості зсуву  $D\dot{\gamma}$  0,3...25,0  $s^{-1}$  [12]. Дослідження води в експериментальних зразках проводили за допомогою методу ядерного магнітного резонансу (ЯМР) широких ліній на імпульсному спектрометрі ЯМР методом «спінової луни» з використанням імпульсної послідовності Хана. Метод розроблено на кафедрі фізико-математичних та інженерно-технічних дисциплін Харківського державного університету харчування та торгівлі [14, 15].

### 5. Результати дослідження та їх обговорення

Авторами було проведено серію експериментів із вивчення залежності ефективної в'язкості різних зразків тіста з додаванням ЕКБ від швидкості та дотичної напруги зсуву за умов використання у технології бісквітного тіста ЕКБ та досліджено його вплив на стійкість технологічної системи.

Результати дослідження залежності впливу ЕКБ на в'язкість бісквітного тіста наведено в табл. 1.

Результати табл. 1 свідчать, що ефективна в'язкість тіста з додаванням ЕКБ зазнає певних змін. Так, в'язкість бісквітного тіста для всіх зразків з вмістом ЕКБ при мінімальній швидкості зсуву 0,89  $s^{-1}$  менша від в'язкості контрольного зразка в середньому на 15...30 %, що зумовлено вологозв'язуючою здатністю ЕКБ та пояснюється розрідженням пінної системи бісквітного тіста.

Побудовано криві течії  $\eta$  ( $\dot{\gamma}$ ) (рис. 1) та реологічні криві залежності напруги зсуву від швидкості зсуву (рис. 2) для експериментальних зразків з використанням ЕКБ.

Залежність впливу ЕКБ на ефективну в'язкість бісквітного тіста

Зразки	Швидкість зсуву $D\dot{\gamma}$ , $c^{-1}$							
	0,89	2,08	3,86	8,02	9,60	10,40	11,65	24,19
Контроль 100 % ПБ	31,86±0,4	13,44±0,2	6,50±0,3	4,35±0,4	3,90±0,3	4,18±0,2	4,13±0,5	4,02±0,3
ЕКБ:ПБ 5:95 %	26,96±0,3	10,61±0,3	4,92±0,4	4,30±0,3	4,69±0,2	3,93±0,3	3,82±0,3	3,80±0,4
ЕКБ:ПБ 10:90 %	25,98±0,5	10,40±0,4	5,37±0,3	4,43±0,2	4,39±0,4	3,88±0,3	3,71±0,2	3,57±0,5
ЕКБ:ПБ 15:85 %	24,51±0,4	10,08±0,2	5,20±0,2	4,22±0,5	4,29±0,3	3,71±0,4	3,38±0,6	3,20±0,3
ЕКБ:ПБ 20:80 %	24,02±0,3	9,77±0,3	5,09±0,3	3,97±0,4	3,67±0,2	3,27±0,4	3,03±0,5	2,92±0,2
ЕКБ:ПБ 50:50 %	22,06±0,3	9,13±0,4	4,75±0,4	3,40±0,2	2,93±0,3	2,83±0,2	2,48±0,4	2,14±0,2

Аналіз отриманих результатів дозволяє виділити наступні закономірності. Криві течії всіх зразків демонструють, як усі неньютоновські рідини, зменшення в'язкості із збільшенням швидкості зсуву. Найінтенсивніше її зниження спостерігається для тіста на основі суміші з вмістом ЕКБ 50 % при швидкості зсуву  $2,4 c^{-1}$ . Подальше зниження ефективної в'язкості при збільшенні швидкості зсуву відбувається менш інтенсивно, а також у всіх зразків з'являється тенденція наближення до постійної в'язкості  $2,4 Pa\cdot s$  для контрольного зразка і до в'язкості  $4,2 Pa\cdot s$  у зразка з вмістом ЕКБ 50 % при швидкості зсуву  $\dot{\gamma} 11,65 c^{-1}$ . Така зміна в'язкості при збільшенні швидкості зсуву пояснюється руйнуванням пінної системи бісквітного тіста. При подальшому підвищенні швидкості зсуву  $\dot{\gamma}(12,0...25,0) c^{-1}$  в'язкість всіх зразків залишається на тому ж рівні, що і при швидкості зсуву  $\dot{\gamma} 11,65 c^{-1}$ .

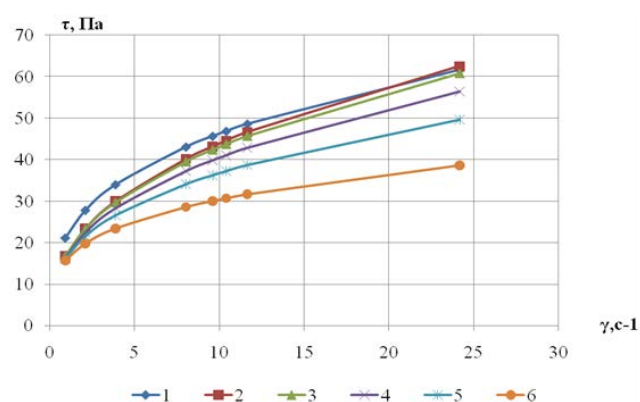


Рис. 1. Залежність напруги зсуву,  $\tau$  Па від швидкості зсуву,  $\dot{\gamma} c^{-1}$  для зразків: № 1 – (контроль); № 2 – ЕКБ:ПБ – 5:95 %; № 3 – ЕКБ:ПБ – 10:90 %; № 4 – ЕКБ:ПБ – 15:85 %; № 5 – ЕКБ:ПБ – 20:80 %; № 6 – ЕКБ:ПБ – 50:50 %

Слід також зауважити, що при значенні швидкості зсуву  $8,024 c^{-1}$  напруга зсуву у зразка з максимальним вмістом ЕКБ 50 % по відношенню до контрольного зразка зменшується на 33 %, тобто при однаковому значенні швидкості зсуву руйнування структури настає при менших значеннях дотичної напруги зсуву. Очевидно, через вищу водопоглинальну здатність ек-

спертного кукурудзяного борошна його додавання здійснює дестабілізуючий ефект на структурно-механічні властивості пінної структури бісквітного тіста за рахунок розрідження системи.

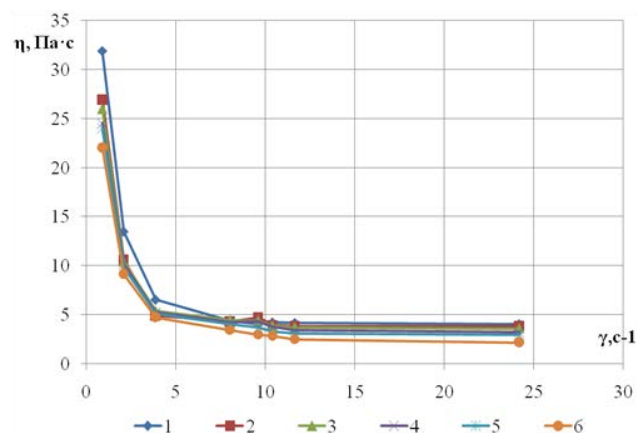


Рис. 2. Залежність ефективної в'язкості  $\eta$ , Па с від швидкості зсуву  $\dot{\gamma}$ ,  $c^{-1}$  для зразків: № 1 – (контроль); № 2 – ЕКБ:ПБ – 5:95 %; № 3 – ЕКБ:ПБ – 10:90 %; № 4 – ЕКБ:ПБ – 15:85 %; № 5 – ЕКБ:ПБ – 20:80 %; № 6 – ЕКБ:ПБ – 50:50 %

У зв'язку із цим, досліджено властивості вологи в системі бісквітного тіста за допомогою приладу спектрометр-ЯМР імпульсної дії, результати вимірювання амплітуд сигналу спінового еха  $A$  для зразків бісквітного тіста з використанням ЕКБ при різних інтервалах  $\tau$  (рис. 3).

На рис. 3 приведено відносне значення амплітуди спінового еха. Такий опис експериментальних результатів дозволить якісніше провести порівняльний аналіз.

З рис. 3 чітко видно, що відносна амплітуда спінового еха зразків тіста швидко спадає при зміні інтервалу  $\tau$ , що свідчить про інтенсивне зв'язування вологи інгредієнтами тіста в першу чергу крохмалем за його наявності в контрольному зразку. На цьому фоні вплив додавання ЕКБ стає помітним, оскільки прослідковується чітка тенденція до підсилення ефекту зв'язування вологи.

Враховуючи це, на приладі спектрометр – ЯМР імпульсної дії визначено молекулярно-кінетичні харак-

теристики води під час визначення часу спин-спінової релаксації  $T_2$ , які дозволяють отримати інформацію про енергетичні особливості поведінки протонів води у бісквітному тісті: ступінь впорядкованості та сили зв'язку молекул води між собою.

Результати впливу концентрації ЕКБ на величину часу спин-спінової релаксації ( $T_2$ ) наведено у табл. 2.

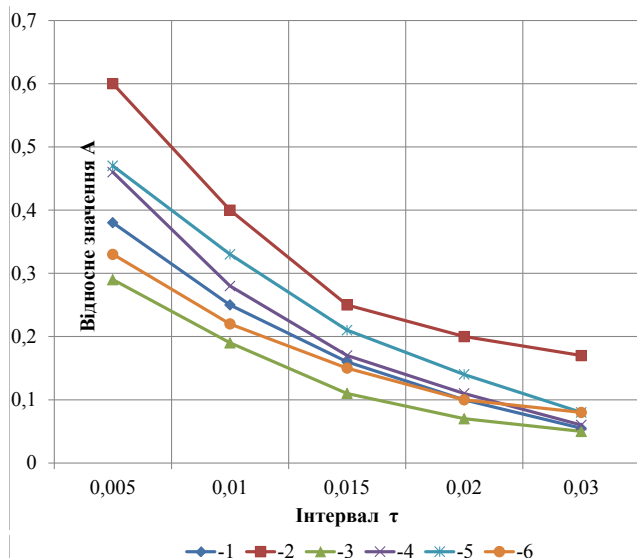


Рис. 3. Залежність амплітуди сигналу А спінового еха від інтервалу  $\tau$  між імпульсами для зразків бісквітного тіста: № 1 – (контроль); № 2 – ЕКБ:ПБ – 5:95 %; № 3 – ЕКБ:ПБ – 10:90 %; № 4 – ЕКБ:ПБ – 15:85 %; № 5 – ЕКБ:ПБ – 20:80 %; № 6 – ЕКБ:ПБ – 50:50 %

Таблиця 2

Результати вимірювання

№ п/п	Зразки	Значення $T_2$
1	Контроль – 100 % ПБ	0,029
2	ЕКБ:ПБ – 5:95 %	0,025
3	ЕКБ:ПБ – 10:90 %	0,024
4	ЕКБ:ПБ – 15:85 %	0,023
5	ЕКБ:ПБ – 20:80 %	0,022
6	ЕКБ:ПБ – 50:50 %	0,019

З табл. 2 видно, під час збільшення кількості ЕКБ зменшується час спин-спінової релаксації  $T_2$ , що свідчить про зменшення рухливості молекул води у розчині. Це дозволяє зробити висновок, що збільшення кількості ЕКБ в системі бісквітного тіста сприяє зв'язуванню води і в свою чергу свідчить про тенденцію утримування більшої кількості води у готовому продукті.

Дослідження вологоутримуючих властивостей додавання ЕКБ методом спин-спінового еха ЯМР показали, що це борошно у бісквітному тісті проявляє властивості гідроколоїду, інтенсифікуючи вологозв'язуючу здатність тіста, що сприятиме стабілізації технологічного процесу виготовлення бісквітного напівфабрикату на етапі замісу тіста.

Проведені дослідження стосовно залежності впливу ЕКБ на в'язкість бісквітного тіста, вивчення впливу додавання ЕКБ на динаміку змін реологічних властивостей бісквітного тіста за допомогою реологічних кривих залежності напруги зсуву від швидкості зсуву, а також дослідження залежності додавання ЕКБ на співвідношення стану вільної і зв'язаної води в бісквітному тісті лягли в основу розроблення нової технології виробництва бісквітного напівфабрикату та дозволяють регулювати технологічні властивості готового виробу залежно від вмісту ЕКБ. Крім цього, за результати проведених досліджень, встановлено оптимальне співвідношення рецептурних компонентів у борошняній суміші для застосування у технології бісквітного напівфабрикату.

Проведено промислову апробацію дослідної партії бісквітних напівфабрикатів «Сонечко» на основі борошняної суміші з використанням ЕКБ в умовах «ПП Войтович С. М.» м. Тернопіль, Україна.

6. Висновки

1. Використання ЕКБ призводить до зміни ефективної в'язкості у бік її зниження, як у контрольних, так і досліджуваних зразках. Збільшення швидкості зсуву у діапазоні  $\gamma(12,0...25,0) \text{ c}^{-1}$  призводить до певної стабілізації в'язкості зразків, особливо це спостерігається у зразках з використанням 50% ЕКБ.
2. При значенні швидкості зсуву  $8,024 \text{ c}^{-1}$  напруга зсуву у зразка з максимальним вмістом ЕКБ 50 % по відношенню до контрольного зразка зменшується на 33 %, тобто при однаковому значенні швидкості зсуву руйнування структури наступає при менших значеннях дотичної напруги зсуву.
3. Із збільшенням кількості ЕКБ в системі бісквітного тіста зменшується величина часу спин-спінової релаксації, тобто зростає кількість зв'язаної води, що сприятиме утримуванню більшої кількості води в готовому продукті.
4. Загалом проведені дослідження показують доцільність застосування ЕКБ в технології бісквітного напівфабрикату, що сприятиме покращенню якісних показників готового продукту та продовження терміну його зберігання.

Література

1. Кравченко, М. Ф. Структурно-механічні властивості випечених бісквітних напівфабрикатів з додаванням борошна «здоров'я» та порошку керубу [Текст] / М. Ф. Кравченко, Р. П. Романенко, О. Л. Романовська // Харчова наука і технологія. – 2015. – Т. 9, № 4. – С. 37–43. doi: 10.15673/2073-8684.4/2015.55869
2. Hera, E. Influence of flour particle size on quality of Gluten-free rice cakes [Text] / E. Hera, M. Martinez, B. Oliete, M. Gómez // Food and Bioprocess Technology. – 2012. – Vol. 6, Issue 9. – P. 2280–2288. doi: 10.1007/s11947-012-0922-6

3. Іорґачова, К. Г. Бісквітні напівфабрикати на основі борошна з продуктів переробки гречки [Текст] / К. Г. Іорґачова, О. В. Макарова, О. М. Котузаки // Зернові продукти і комбікорми. – 2010. – № 4. – С. 12–15.
4. Кузнецова, Л. С. Технология приготовления мучных кондитерских изделий [Текст] / Л. С. Кузнецова, М. Ю. Сиданова. – М.: Академия, 2008. – 319 с.
5. Лозова, Т. М. Наукові основи формування споживних властивостей і зберігання якості борошняних кондитерських виробів [Текст]: монографія / Т. М. Лозова, І. В. Сирохман. – Л.: Вид-во ЛКА, 2009. – 456 с.
6. Gómez, M. Addition of pin-milled pea flour and air-classified fractions in layer and sponge cakes [Text] / M. Gómez, M. Doyagüe, E. Hera // LWT - Food Science and Technology. – 2012. – Vol. 46, Issue 1. – P. 142–147. doi: 10.1016/j.lwt.2011.10.014
7. Autio, K. Bread quality relationship with rheological measurements of wheat flour dough [Text] / K. Autio, L. Flander, A. Kinnunen, R. Heinonen // Cereal Chemistry. – 2001. – Vol. 78, Issue 6. – P. 654–657. doi: 10.1094/cchem.2001.78.6.654
8. Koruz, J. The influence of flour on rheological properties of gluten-free dough and physical characteristics of the bread [Text] / J. Koruz, M. Witczak, R. Ziobro, L. Juszcak // Eur Food Res Technol. – 2015. – Vol. 240. – P. 1135–1143.
9. Gluten-free food science and technology [Text] / E. Gallagher (Ed.) / Blackwell Publishing Ltd, 2009. – 240 p.
10. Sudha, M. L. Influence of fiber from different cereals on the rheological characteristics of wheat flour dough and on biscuit quality [Text] / M. L. Sudha, R. Vetrimani, K. Leelavathi // Food Chemistry. – 2007. – Vol. 100, Issue 4. – P. 1365–1370. doi: 10.1016/j.foodchem.2005.12.013
11. Muratowa, E. I. The use of regional raw materials for creating confectionery products for functional purposes [Text] / E. I. Muratowa, P. M. Smolikhina // Proceeding of international scientific and technical Conference after Leonardo da Vinci. – 2013. – Vol. 1. – P. 177–185.
12. Погожих, Н. И. Вода в пищевых продуктах и для пищевых продуктов [Текст] / Н. И. Погожих и др. – Харьковський державний університет харчових технологій і торгівлі, 2013. – 177 с.
13. Lisovska, T. Investigation of water binding in sponge cake with extruded corn meal [Text] / T. Lisovska, O. Rybak, M. Kuhtyn, N. Chorna // Ukrainian food journal. – 2015. – Vol. 4, Issue 3. – P. 413–422.
14. Неронов, Ю. И. Ядерный магнитный резонанс в томографии и в спектральных исследованиях [Текст]: учеб. пос. / Ю. И. Неронов, З. Гарайбех. – СПб.: Санкт-Петербургский государственный институт точной механики и оптика (Технический университет), 2003. – 84 с.
15. Даниленко, О. Ф. Автоматизована система виміру ЯМР спектрометра [Текст]: зб. наук. пр. / О. Ф. Даниленко, О. Г. Дьяков, О. І. Торяник // Прогресивні техніка та технологія харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі. – 2005. – Вип. 2. – С. 314–342.