

FORMATION OF THE STRUCTURE OF WHEAT DOUGH DURING THE PROCESS OF KNEADING

V. Rachok, V. Gudzenko, Y. Telychkun, V. Telychkun

National University of Food Technologies

Key words:

Kneading
Dough
Shear stress
Shear rate
Viscosity

Article history:

Received 06.03.2018
Received in revised form
27.03.2018
Accepted 20.04.2018

Corresponding author:

V. Rachok

E-mail:

RachokV3478@gmail.com

ABSTRACT

The main task of the mixing process is distribution of the components of the mixture, which is a necessary, but insufficient condition for determining the readiness of the dough. One of the important characteristics and indicators of the readiness of the dough is its rheological properties. The assigning necessary rheological characteristics to the dough, which are determined by the subsequent stages of the technological process, takes place at the third stage during which the plasticization of the dough is occurring. The analysis of literary sources shows that there are no data in the literature regarding changing the rheological characteristics of the dough during the mixing process. The article investigates the rheological properties of the dough during mixing. The yeast dough was mixed in an experimental dough machine of periodic action. The rheological characteristics were investigated with a use of a rotating viscometer Reotest 2.

As a result of the research, the tread curve of the mass during the mixing process was constructed and it was established that the weight of dough did not change the nature of the flow, regardless of the time interval of measurements, within the range tested. As a result of the analysis of the curve of the dough mass during the mixing, features were found that explain the formation of the dough structure.

The dependence of the effective viscosity on the rate of precipitation during the kneading process of the wheat dough is of a power-law nature. The effective viscosity of the dough during the mixing process depends on the shear rate, which confirms its non-Newtonian character. It changes linearly in time for all investigated values of the shear rate. With the increase of the rate of displacement, the value of effective viscosity is practically the constant value, which does not change over time.

The dependence of effective viscosity on shear stress within the studied range is also linear. The dependence of the effective viscosity on the strain of displacement, within the studied range is described by the first-order equation.

DOI: 10.24263/2225-2924-2018-24-2-19

ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ ПШЕНИЧНОГО ТІСТА В ПРОЦЕСІ ЗАМІШУВАННЯ

В.В. Рачок, В.С. Гудзенко, Ю.С. Теличкун, В.І. Теличкун
Національний університет харчових технологій

Основним завданням процесу перемішування є рівномірний розподіл компонентів суміші як необхідна, але недостатня умова визначення готовності тіста. Важливими характеристиками і показниками готовності тіста є його реологічні властивості. Надання тістовій масі необхідних реологічних характеристик, які визначаються подальшими стадіями технологічного процесу, відбувається на третій стадії, під час якої відбувається пластифікація тіста. У статті досліджено реологічні властивості тіста під час замішування. Дріжджове тісто замішували на експериментальній тістомісильній машині періодичної дії. Реологічні характеристики досліджували на ротаційному віскозиметрі Реотест 2.

У результаті досліджень побудована крива течії тістової маси під час замішування і встановлено, що в межах дослідженого діапазону тістова маса не змінює характер плинуну незалежно від часового проміжку вимірювань. У результаті аналізу кривої течії тістової маси під час замішування виявлено особливості, що пояснюють утворення і формування структури тіста. Залежність ефективної в'язкості від швидкості зсуву під час замішування пшеничного тіста має степеневий характер.

Ефективна в'язкість тіста в процесі замішування залежить від швидкості зсуву, що підтверджує її неньютонівський характер, вона лінійно змінюється в часі для всіх досліджених значень швидкості зсуву. Зі збільшенням швидкості зсуву значення ефективної в'язкості практично залишається сталою величиною, яка не змінюється в часі.

Дослідженнями встановлено, що максимальне значення напруження зсуву, близьке для всіх залежностей, є сталою величиною для такої якості тіста (вологість, якість сировини тощо) та інтенсивності ведення процесу. Залежність ефективної в'язкості від напруження зсуву в межах дослідженого діапазону описується рівнянням першого порядку.

Ключові слова: замішування, тісто, напруження зсуву, швидкість зсуву, ефективна в'язкість.

Постановка проблеми. Процес замішування дріжджового пшеничного тіста — складний і різнобічний вплив на тістову масу, коли із борошна та рідких інгредієнтів утворюється пружно-в'язкопластична структура [1]. Основним завданням процесу перемішування є, безумовно, рівномірний розподіл компонентів суміші, однак це необхідна, але недостатня умова визначення готовності тіста. Однією з важливих характеристик готовності тіста є його реологічні властивості. Сукупність однорідності тістової маси та досягнення нею відповідних структурно-механічних властивостей забезпечує

якість готових виробів, визначає стан м'якушки та структуру пористості, що є основними органолептичними й фізико-хімічними показниками якості [2].

Існує так звана двостадійна модель замішування тіста [3]. Виділяють дві стадії замішування тіста: змішування компонентів і пластифікацію.

Пекарі та спеціалісти з хімії зернових виділяють п'ять послідовних стадій формування тіста [7].

Складання сумішей — перша стадія вимішування. Це короткий період часу, коли різні інгредієнти входять у контакт. З'єднання — друга стадія вимішування тіста, коли всі інгредієнти рівномірно змішані. В цій стадії тісто має вигляд клейкої малоеластичної або нееластичної пасти. Тісто, що не прилипає до стінок тістомісильної машини, — це третя стадія вимішування. На цій стадії тісто починає демонструвати значні в'язкопружні властивості і його інгредієнти починають повністю відриватись від бокових стінок тістомісильної машини. Розвиток — четверта стадія вимішування. На цій стадії в'язкість та еластичність тіста продовжують підвищуватись, досягаючи максимального розвитку щільності, або видимої в'язкості, а також максимальної або близької до максимального газоутримувальної здатності. Тому, зазвичай, досягнення цієї точки є метою вимішування тіста. Обминка — п'ята стадія вимішування. На цій стадії щільність тіста, або видима в'язкість, починає зменшуватись. Тісто стає менш еластичним, більш клейким, його газоутримувальна здатність зменшується. Це називають надлишковим розвитком тіста. Вважається, що це відбувається в результаті розриву міжмолекулярних дисульфідних зв'язків, сформованих на попередніх стадіях вимішування.

Найбільш ґрунтовно та детально виконано аналіз закономірностей процесу замішування і виявлено поетапні раціональні параметри його забезпечення, запропоновано тристадійна модель замішування тіста (перемішування компонентів, власне заміс та пластифікація) у розробках зарубіжних авторів Х. Чешнера та Н. Квенда та ін. [8; 10].

Перша стадія — механічне змішування та аерація компонентів, унаслідок чого досягається рівномірний розподіл компонентів суміші. Вона супроводжується зволоженням сухих компонентів, їх диспергуванням, агрегацією та сорбцією вологи. Ця стадія має проводитись у якомога короткий термін з мінімальними витратами енергії. Збільшення тривалості першої стадії призводить до ускладнення процесу набухання борошняних частинок і їх когезії, що ускладнює подальше перемішування і рівномірний розподіл компонентів. Друга стадія — заміс, характеризується вирівнюванням вологи різних компонентів, переходом у розчин розчинних частин борошна. Крім того, підвищується напруження зсуву і, як наслідок, збільшуються витрати енергії на привід тістомісильної машини. Третя стадія — пластифікація, супроводжується структурними змінами крохмальних часток і утворенням клейковинної решітки, яка охоплює крохмальні зерна. Третя стадія потребує посиленого механічного впливу, а не просто перемішування, оскільки створення клейковинних плівок (помел) проходить разом з руйнуванням молекул клейковини. На останнє суттєво впливають активність деяких ферментів, а також вологість і температура тіста.

Рівномірне змішування компонентів відбувається за досить короткий час і здійснюється переважно на першій стадії замішування тіста. Друга стадія короткотривала і може виконуватися без витрат механічної енергії. Тривалість третьої стадії, під час якої відбувається пластифікація тістової маси, залежить від надання тістовій масі необхідних реологічних характеристик, які визначаються подальшими стадіями технологічного процесу. Аналіз літературних джерел свідчить, що в літературі відсутні дані щодо зміни реологічних характеристик тіста в процесі замішування [10].

Мета статті: дослідження зміни реологічних властивостей тіста під час замішування та науковий аналіз структурно-механічних властивостей дріжджового тіста; дослідження кривої течії тістової маси та залежності ефективної в'язкості від швидкості зсуву під час замішування пшеничного тіста.

Матеріали і методи дослідження. Проведені експериментальні дослідження зміни реологічних властивостей тіста під час замішування. Замішування проводили на експериментальній тістомісильній машині періодичної дії (рис. 1), вимірювали витрати енергії під час замішування та відбирали проби для визначення напруження зсуву для різних значень швидкості зсуву.

Експериментальна установка складається зі станини 1, на якій закріплені привід з регулятором кількості обертів 2. Діжа 4 закріплюється на станині за допомогою тримачів, робочий орган 5 кріпиться на привідному валу та фіксується за допомогою кришки 6, яка також утримує діжу в нерухомому стані. Важіль 3 слугує для легкого та швидкого перемикавання швидкості обертання робочого органу.

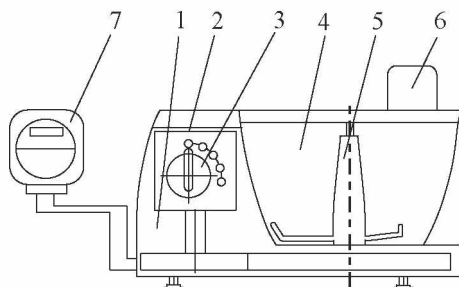


Рис. 1. Схема експериментальної установки:

1 — станина; 2 — привід з можливістю регулювання кількості обертів; 3 — важіль перемикачів передач; 4 — діжа; 5 — робочий орган; 6 — кришка; 7 — прилад «Volterraft» для вимірювання потужності, яка споживається електродвигуном

Дослідження реологічних характеристик проводили на ротаційному віскозиметрі Реотест 2 (рис. 2), який має широкі можливості зміни швидкості зсуву.

Ротаційний віскозиметр РЕОТЕСТ 2 складається з двох основних вузлів: власне віскозиметра і блоку вимірювань.

Основними елементами віскозиметра є привід і вимірювальний механізм з пристроєм конус-пластина.

Привід ротаційного віскозиметра РЕОТЕСТ 2 здійснюється через 12-ступінчасту реверсивну коробку передач від синхронного двигуна з перемикач-

ням полюсів і можливістю вибору в цілому 24 різних швидкості обертання валу конуса або швидкості зсуву.

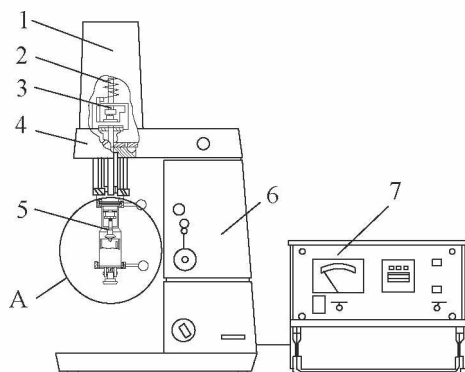


Рис. 2а. Схема ротаційного віскозиметра РЕОТЕСТ 2: 1 — корпус віскозиметра; 2 — динамометр; 3 — потенціометр; 4 — вимірювальний механізм; 5 — конусно-пластинчатий пристрій; 6 — привід; 7 — блок вимірювань

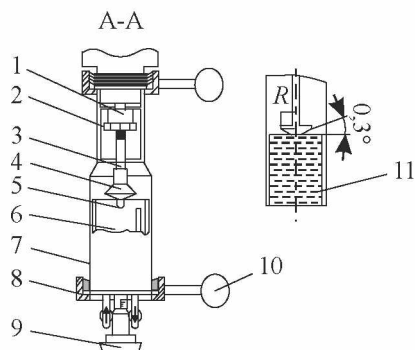


Рис. 2б. Конусно-вимірювальний пристрій: 1 — муфта; 2 — втулка; 3 — вал; 4 — конус; 5 — датчик температури; 6 — термостатична камера; 7 — напрямна пластина; 8 — натяжне кільце; 9 — мікрометричний гвинт; 10 — натяжний важіль; 11 — система конус-пластина

Вибір швидкості обертання (кількості обертів) здійснюється за допомогою коробки передачі зміною числа обертів на вимірювальному валу з відношенням між сусідніми ступенями $\sqrt{3}$. Установка необхідної кількості обертів здійснюється поворотом важеля перемикачання. Швидкість обертання синхронного двигуна і вимірювального конуса не залежить від коливань напруги мережі та навантаження.

Ротаційний віскозиметр РЕОТЕСТ 2 є двосистемним пристроєм. Реологічні характеристики досліджуваного матеріалу можливо вимірювати за допомогою циліндричних вимірювальних пристроїв або за допомогою конусно-пластинчатого вимірювального пристрою. Для дослідження тістової маси використовуємо конусно-пластинчатий вимірювальний пристрій, в якому матеріал поміщається в клиноподібний зазор, який створюється між нерухомою пластиною і конусом радіусом R , що обертається з постійною ω . Кут конусності системи конус-пластина є відносно малим і становить $0,3^\circ$.

Дослідження матеріалу за певної температури досягається безпосереднім підтриманням температури пластины шляхом живлення термостатичної камери системи конус-пластина рідиною циркуляційного термостату.

Тісто замішували за рецептурою: борошно пшеничне вищого гатунку — 100%, сіль — 1,5%, дріжджі — 1%, вода за розрахунком для вологості тіста — 42%. Тривалість замішування — 600 с. Під час замішування з камери тістомісильної машини кожні 120 с відбирали проби для вимірювання напруження зсуву за різних значень швидкості зсуву.

За даними попередніх досліджень встановлено, що через 120 с від початку замішування перша стадія процесу вже завершена і тістова маса перебуває на другій та третій стадії, тобто дослідження проводимо однорідної маси.

Для того щоб уникнути впливу напружень, що виникають під час вимірювань, для кожного із значень швидкості зсуву відбирали новий зразок.

Зразок тіста розміщували на вимірювальний конус конусно-пластинчатого пристрою, який встановлювався на віскозиметр і закріплювався за допомогою натяжного кільця.

Значення крутного моменту отримували з блоку вимірювань на 12 швидкостях зсуву за різної тривалості замішування.

Напруження зсуву, яке відповідає гідравлічному опору клиноподібного зазору, залежить від крутного моменту M , який перетворюється в електричний сигнал. Напруження зсуву τ і швидкість зсуву γ в клиноподібному зазорі постійна. Вказані величини розраховували за наведеними нижче формулами.

Напруження зсуву:

$$\tau = \frac{3 M}{2 \pi R^3}, \text{ Па,}$$

де M — крутний момент, Н · м; R — радіус конуса, м.

Швидкість зсуву:

$$\gamma = \frac{\omega}{\text{tg}\varphi}, \text{ с}^{-1},$$

де ω — кутова швидкість обертання конуса, рад; φ — кут нахилу системи конус-пластина.

Ефективна в'язкість:

$$\eta = \frac{\tau}{\gamma}, \text{ Па} \cdot \text{ с.}$$

Для вимірювання значень реологічних параметрів на ротаційному віскозиметрі дійсні такі співвідношення:

- напруження зсуву:

$$\tau = c \cdot \alpha, \text{ Па,}$$

де c — стала величина конусу, 10^{-1} Па/поділок шкали; α — величина показників індикаторному приладі /поділок шкали/.

Стала конуса, що залежить від геометричних розмірів вимірювального конуса і сталої пружності пружини динамометра вимірювального механізму, вказана для кожного вимірювальної системи окремо для діапазону I і діапазону II напруження зсуву в акті про випробування РЕОТЕСТА 2.

Швидкість зсуву γ в клиноподібному зазорі конус-пластинчатого пристрою залежить від геометричних розмірів і швидкості обертання вимірювального конуса, вказана в поданій таблиці ступенів для всіх швидкостей обертання. Швидкості зсуву, зазначені в таблиці ступенів, дійсні для частоти мережі 50 Гц.

Результати і обговорення. Отримані результати дають змогу побудувати криву течії тістової маси під час замішування. Дослідженнями встановлено, в

межах дослідженого діапазону тістова маса не змінює характер плинності незалежно від часового проміжку вимірювань.

Утворена однорідна гомогенна структура тіста на стадії пластифікації є стабільною системою і зміна швидкості зсуву відразу приводить систему в новий структурний стан. Процеси руйнування і відновлення структури перебувають у дослідженому діапазоні швидкості зсуву в рівноважному стані.

Крива течії описується з достатньою ймовірністю тепеневою залежністю:

$$\tau = 6740 - 8924\gamma^{-0,9}, \text{Па.}$$

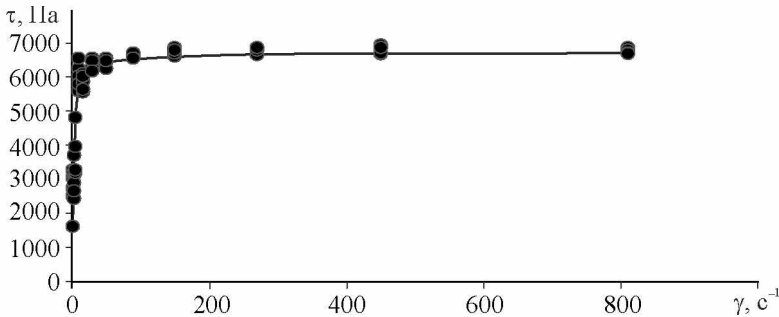


Рис. 3. Експериментальна крива течії тістової маси під час замішування

Крива течії тістової маси під час замішування має свої особливості, що пояснюється утворенням і формуванням структури тіста. Стала величина в формулі є граничним напруженням зсуву утвореної структури тіста, яка досягається за швидкості зсуву в межах 200 c^{-1} .

Отримані експериментальні дані дають змогу отримати зміну ефективної в'язкості тіста під час замішування та її залежність від швидкості зсуву, що підтверджує її неньютонівський характер (рис. 4).

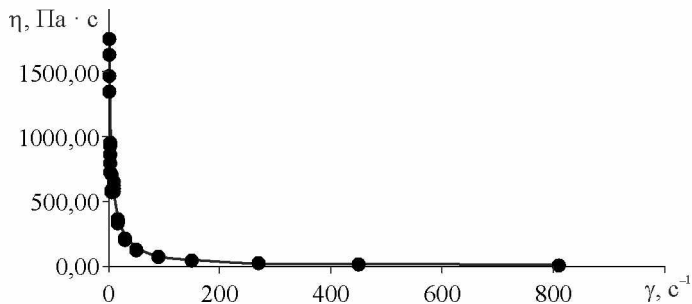


Рис. 4. Залежність ефективної в'язкості тіста від швидкості зсуву під час замішування

У результаті математичного опрацювання експериментальних даних отримано рівняння залежності ефективної в'язкості від швидкості зсуву під час замішування пшеничного тіста:

$$\eta = 3198,6\gamma^{0,856}, \text{Па} \cdot \text{c.}$$

Ця залежність має степеневий характер.

В'язкість тіста під час замішування лінійно змінюється в часі для всіх досліджених значень швидкості зсуву (рис. 5).

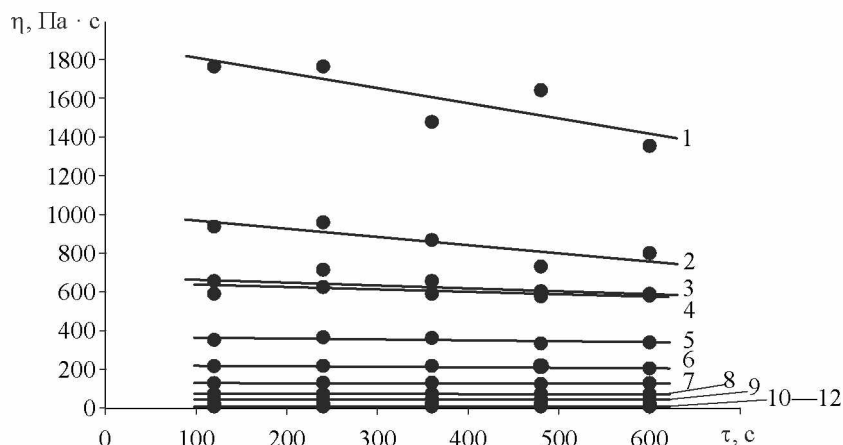


Рис. 5. Зміна ефективної в'язкості тіста під час замішування для різних значень швидкості зсуву:

1 — 1,86; 2 — 3,34; 3 — 5,56; 4 — 10; 5 — 16,66; 6 — 30; 7 — 50; 8 — 90; 9 — 150; 10 — 270; 11 — 450; 12 — 810 c^{-1}

Зі збільшенням швидкості зсуву значення ефективної в'язкості практично залишається сталою величиною, яка не змінюється в часі.

Сімейство прямих ліній, зображених на рис. 5, описується математичною залежністю:

$$\eta = 2,1\gamma^{-1,5} + 3715,5\gamma^{0,883}, \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

Лінійною характеризується і залежність ефективної в'язкості від напруження зсуву (рис. 6).

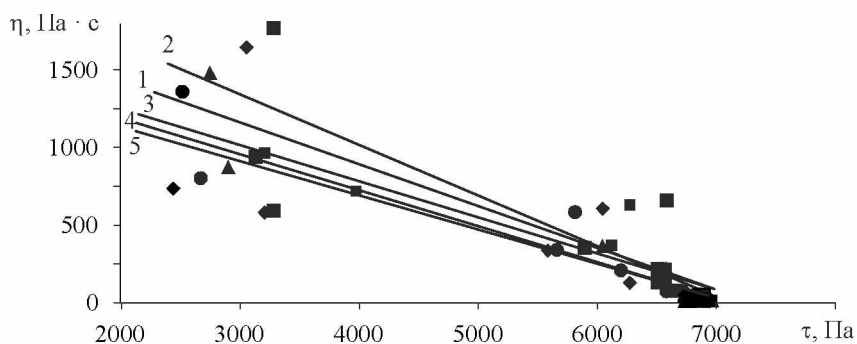


Рис. 6. Залежність ефективної в'язкості від напруження зсуву для тривалості замішування: 1 — 120; 2 — 240; 3 — 360; 4 — 480; 5 — 600 с

Максимальне значення напруження зсуву, близьке для всіх залежностей, очевидно є сталою величиною для даної якості тіста (вологість, якість сировини та ін.) та інтенсивності ведення процесу.

Сімейство прямих з різними кутами нахилу описується рівнянням:

$$\eta = (0,00017T - 0,31996)\tau - 1,244T + 2309,5 \text{ Па} \cdot \text{с},$$

де T — тривалість замішування, с.

Висновки

Експериментальні дослідження реологічних властивостей тіста процесі замішування й аналіз отриманих результатів свідчить, що тістова маса в межах дослідженого діапазону не змінює характер плинності незалежно від часового проміжку вимірювань.

Залежність ефективної в'язкості тіста від швидкості зсуву має більш суттєве значення, ніж залежність реологічних характеристик від тривалості процесу.

Отримана крива течії тістової маси під час замішування має свої особливості: стала величина у формулі є ймовірно граничним напруженням зсуву утвореної структури тіста, що пояснюється утворенням і формуванням структури тіста.

Максимальне значення напруження зсуву, яким характеризується крива течії, очевидно, є сталою величиною для даної якості тіста (вологість, якість сировини тощо) та інтенсивності ведення процесу.

Залежність ефективної в'язкості від швидкості зсуву під час замішування пшеничного тіста має ступеневий характер і лінійно змінюється в часі для всіх досліджених значень швидкості зсуву.

Література

1. Лисовенко А.Т. Технологическое оборудование хлебозаводов и пути его совершенствования: учебник для высш. учеб. заведений // Легкая и пищевая промышленность, 1982. — 208 с.
2. Kilborn R.H., Tipples K.H. Factors affecting mechanical dough development: book for university students: Implication of mixing at a constant of energy input, Cereal Chem, 1972. 53 p.
3. Mani K., Eliasson A., Lindahl L. Rheological properties and bread making quality of wheat flour doughs made with different dough mixers: book for university students: Cereal Chem. 1992. 225 p.
4. Pylar E.J. Baking Science and Technology. Soslund Publ. Vol. 2 1988. 112 p.
5. Mitchell T.A. Dough mixer controls for the mechanical dough development process. Proceedings of the International Symposium on Advances in Baking Science and Technology, Kansas State University, KS. 1984. 234 p.
6. Launay B., Bure J., Application of a viscometric method to the study of wheat dough, J.Text. Stud. 4(10): 1973. 82—101 pp.
7. Wooding A.R., Martin R.J., Wilson A.J. Effect of sulphur-nitrogen treatments on work input requirements for dough mixing on second season: Proc. 44th RACI Cereal Chemistry Conference, F: 1994. 257 p.
8. Pareyt B. Impact of mixing time and sodium stearoyl lactylate on gluten polymerization during baking of wheat flour dough: Food Chemistry: 2013. 179 p.
9. Hailemariam L. A mathematical model for the isothermal growth of bubbles in wheat dough: Journal of Food Engineering: 2007. 466—477 pp.
10. Shehzad A., Chiron H. Energetical and rheological approaches of wheat flour dough mixing with a spiral mixer: Journal of Food Engineering: 2012. 70 p.
11. Shehzad A. Energetical and rheological approaches of wheat flour dough mixing with a spiral mixer: Journal of Food Engineering: 2012. 70 p.
12. Haraszia R. Differential mixing action effects on functional properties and polymeric protein size distribution of wheat dough: Journal of Cereal Science: 2008. 51 p.