

УДК 664.663

**РЕОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ БЕЗГЛЮТЕНОВОГО БЕЗДРІЖДЖОВОГО ТІСТА****Шаніна О.М., Гавриш Т.В., Галясний І.В., Дугіна К.В.**Харківський національний технічний університет сільського господарства  
імені Петра Василенка

У даній статті досліджені реологічні властивості бездріжджового тіста з безглютенової сировини. Проаналізовані альтернативні види безглютеного борошна, що можуть застосовуватися в технології хліба. Виявлені та обґрунтовані заходи спрямовані на модифікацію газотримувальної здатності тіста та пористості готових безглютенових хлібних виробів. Визначено реологічну поведінку бездріжджового тіста з різних безглютенових видів борошна та його взаємозв'язок з якісними показниками кінцевого хлібопекарського продукту. Доведено необхідність регулювання структурно-механічних властивостей тіста та готової продукції, шляхом використання борошняних сумішей.

**Ключові слова:** безглютенове борошно, целиакія, пружність та пластичність тіста, структурно-механічні властивості, якісні характеристики тіста.

**Постановка проблеми.** Хліб – це загальноновизнана складова в харчовому балансі людства незалежно від раси, віку, статі, релігії або географічного положення. Хліб і продукти на основі зернових складають основу харчової піраміди [1]. У деяких країнах вважають за потрібне споживання 250-350 г хліба щодня, а Всесвітня організація охорони здоров'я рекомендує вживання хліба кілька разів на день [2].

Традиційно хліб вироблять з борошна пшениці. Інші види зернових та бобових культур, перероблені в борошно, також можуть бути додані до пшеничного. Проте, додавання інших видів борошна більше 20% (аж до повного виключення пшеничного) вимагає застосування корегувальних заходів, а саме хлібопекарських поліпшувачів, таких як ферменти, закваски, гідроколоїди, хімічні речовини, емульгатори, модифікований крохмаль [3; 4; 5]. Інакше це призводить до поганого формування тіста із погіршеними властивостями до розтягування, з обмеженою здатністю до оброблення перед випіканням. А хліб має крихкувату текстуру, непривабливий колір та інші дефекти пост-випічки [6].

Вказані тенденції зумовлені вкрай важливою здатністю білків пшениці перетворювати пшеничне борошно за додавання води в безперервну тістову масу з унікальними реологічними властивостями. Клейковина необхідна для розвитку сильної білкової мережі та утворення хлібного тіста зі збалансованими в'язко-пружними реологічними властивостями, для отримання необхідного обсягу тіста через утримання газу, що накопичується під час бродіння. Глютенін і проламіни (або гліадін) є основними фракціями клейковини, які відповідальні за розвиток і баланс еластичності, пружності та пластичності тіста [7].

Проте, маючи величезну користь для виробників хліба, клейковина (глютен) є небезпечним компонентом в харчуванні людей, хворих на целиакію. Його вживання викликає травні розлади, пошкоджуючи крихітні, схожі на волосся ворсинки в тонкій кишці, які поглинають поживні речовини. Це пошкодження відбувається через імунологічну реакцію на глютен. Пацієнти з целиакією не переносять гліадинову частку білків і проламіни пшениці та деяких зернових культур, таких як жито і ячмінь [7]. Єдиним способом лікування цього захворювання є дотримання су-

ворої безглютенової дієти протягом усього їхнього тривалості життя.

Таким чином, інтерес до альтернативної борошняної сировини, що не містить глютен (із зерна рису, кукурудзи, сорго та ін.) росте через підвищений споживчий попит на нову і здорову безглютенову їжу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Безглютенове борошно, таке як борошно з рису, жита, кукурудзи, вівса, гречки, теффі і сумішей складається з різних компонентів, а саме білка, крохмалю та мінералів [12]. Багато з альтернативних видів борошна мають властивості, які доповнюють або іноді навіть покращують клейковину. Наприклад, кукурудзяне борошно покращує реологічні властивості, водопоглинання та структурування тіста, параметри клейстеризації крохмалю [13; 14]. Рисове, соргове та просове борошно є добрими водозв'язувальними агентами і факторами желатинізації [13; 14; 15]. Гречане і амарантове борошно додатково підвищують вміст поживних речовин, оскільки містять білки і незамінні амінокислоти [13]. Загалом, серед найчастіше згадуваних у фаховій літературі заміників глютену – зернові або злаки (кукурудза, рис, просо і сорго), псевдо-злаки (амарант, гречка, лобода), соєві білки, бобові (нут, квасолі вігна), коренеплоди (маніока, тапіока, батат, солодка картопля), насіння олійних культур (кокосове, лляне, соняшникове, арахіс), плодові культури (по-дорожник), а також деякі рідко використовувані культури (каштан, горіх тигр, teff) [11].

Для поліпшення якості безглютенових хлібних виробів застосовують препарати, які, як правило, призначені для спрощення виробництва та компенсації змін властивостей сировини, використаної на заміщення глютенвмісного борошна [9; 10]. У виробництві безпшеничного або безглютенового хліба передбачають використання добавок і поліпшувачів, таких як, модифіковані крохмалі, гідроколоїди і камеді, білки, ферменти, емульгатори і хімічна розпушувачі і закваски [11].

Усі ці заходи спрямовані насамперед на модифікацію газотримувальної здатності тіста та пористості готових хлібних виробів. Оскільки застосування безглютенової сировини, яка є вкрай необхідною для дієтичного харчування хворих на целиакію, призводить до дуже суттєвого погіршення здатності тіста утримувати вуглекислий газ.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Подібно до пшеничного, безглютенове тісто традиційно замішують, піддають ферментації/бродинню, розділяють на шматки, формують та випікають. Тим не менш, виробництво безглютенового хліба трохи відрізняється від стандартів виробництва пшеничного хліба пшениці з точки зору регулювання технологічних параметрів. Так, безглютенове тісто має тенденцію містити більш високу частку води і, як правило, має більш рідку структуру.

Відмітимо, що процес утворення газоподібної фази тіста дріжджового тіста під дією дріжджів є дуже тривалим. Саме це, на наш погляд, зумовлює недоцільність проведення операції бродіння, бо вуглекислий газ, що утворюється, в тісті не втримується і практично повністю втрачається. Тому цілком зрозумілим технологічним кроком ми вважаємо виключення операції тривалого бродіння і створення умов для короткочасного розпушення тіста (механічним та/або хімічним способом).

Екструзія є відомим способом формування безглютенового хлібного тіста; проте, її застосування не знаходить значного поширення через високий тиск, тенденцію до ущільнення тіста, що призводить до зниження якості [16].

Структурування в безглютеновому тісті та хлібі грає ключову роль, оскільки дозволяє надати новим продуктам традиційний зовнішній вигляд та структуру. Цей напрямок є ключовим у світі серед науковців та фахівців, зосереджених на створенні дієтичних "gluten-free" та "wheat-free" хлібопекарських та інших харчових продуктів.

На нашу думку, вирішальними технологічними аспектами з точки зору формування якості

кінцевого продукту є забезпечення гарантованої газоутворювальної та газоутримувальної здатності тіста. Остання виявляється такою, що потребує більш пильної технологічної уваги з урахуванням впливу на неї безглютенового борошна як низькофункціонального сировинного компонента хлібопекарського виробництва.

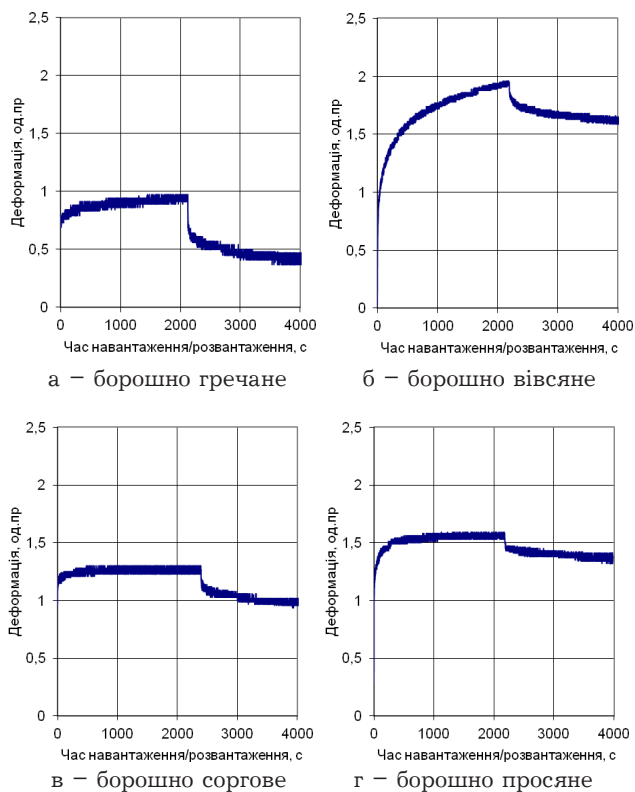
**Мета статті.** Метою нашого дослідження було визначення реологічної поведінки бездріжджового тіста з різних видів безглютенових видів борошна та його взаємозв'язок з якісними показниками кінцевого хлібопекарського продукту.

**Виклад основного матеріалу.** Об'єктами дослідження обрано тісто з безглютенових видів борошна – рисового ( $B_{рис}$ ), кукурудзяного ( $B_{кук}$ ), гречаного ( $B_{греч}$ ), соргового ( $B_{сорг}$ ), просяного ( $B_{прос}$ ), вівсяного ( $B_{вівс}$ ), а також борошняні суміші. В якості рідкої фази тіста застосовували кефір із вмістом жиру 2,5%, в якості розпушувача – гідрокарбонат натрію.

Реологічні характеристики тіста вивчали за допомогою напівавтоматизованого текстурометру. Для визначення структурно-механічних показників будували залежність відносної деформації від часу дії напруги  $\gamma = f(t)$ .

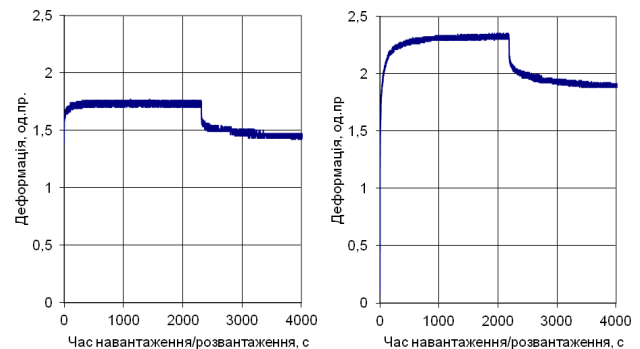
Приготування тіста включало підготовку сировини та заміс тіста; в якості рецептурних компонентів використовували борошно або борошняну суміш, яєчний меланж, кефір та оклейстеризований крохмаль, а для розпушення тіста застосовували натрій двовуглекислий. Рецептурну суміш піддавали збиванню в умовах атмосферного тиску.

На першому етапі досліджували реологічні властивості бездріжджового безглютенового тіс-

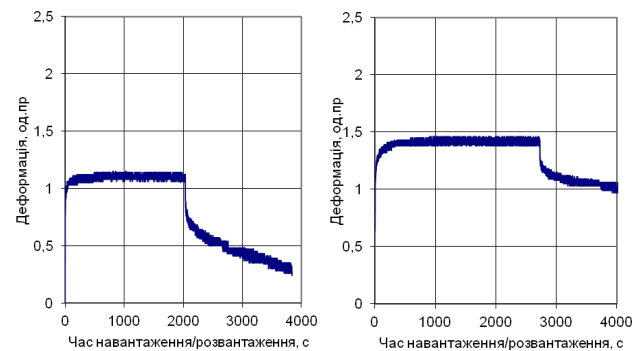


**Рис. 1.** Криві навантаження-розвантаження тіста з борошна гречаного (а), вівсяного (б), соргового (в) та просяного (г)

Джерело: розроблено авторами



а – борошно б – борошно кукурудзяне



в – борошно рисове:кукурудзяне 70:30 г – борошно рисове:кукурудзяне 50:50

**Рис. 2.** Криві навантаження-розвантаження тіста з борошна рисового (а), кукурудзяного (б) та їх сумішей у співвідношенні 70:30 (в) і 50:50 (г)

Джерело: розроблено авторами

та. Криві навантаження/розвантаження зразків тіста наведені на рис. 1-2, а результати їх обробки – в табл. 1. Розділення загальної деформації на зворотну і незворотну проводили шляхом екстраполяції лінійної ділянки графіку  $\gamma = f(t)$  на вісь ординат. Коефіцієнт відношення зворотної деформації до загальної визначали за формулою:

$$K_\gamma = \frac{\gamma_{зв}}{\gamma_m}, \quad (1)$$

де  $\gamma_{зв}$  – величина зворотної деформації;  
 $\gamma_m$  – величина максимальної деформації.

Аналіз реологічних кривих підтверджує надзвичайно високі пластичні показники просяного тіста за одночасно дуже низької пружності. Тісто з рисового та соргового борошна за достатньо високої пластичності виявляє більш потужні (у порівнянні з просяним борошном) пружні властивості.

Найбільшу здатність до деформації демонструють зразки тіста з вівсяного та кукурудзяного борошна. Найбільш збалансованими реологічними характеристика володіє тісто з гречаного борошна та з суміші рисового та кукурудзяного у співвідношенні 70/30 (їх показники відношення деформації зворотної до загальної дорівнюють відповідно 0,56 та 0,77).

Для ґрунтового аналізу отриманих реологічних кривих дані з результатами власного експерименту (рис. 1, 2) порівнювали з відомою встановленою залежністю об'єму формового хліба та розпливаємості подового хліба від величини та співвідношення  $\epsilon_{пл.}$  і  $\epsilon_{пру.}$  (рис. 3). З тіста, що характеризується високими значеннями максимальної та пластичної деформації можна очікувати подовий хліб з низькою формостійкістю (А на рис. 3).

Таблиця 1

Деформаційні показники тіста з різних видів безглютенового борошна

Вид борошна	Зворотна деформація, $10^{-3}$ ( $\gamma_{зв}$ )	Незворотна деформація, $10^{-3}$ ( $\gamma_{незв}$ )	Загальна деформація, ( $\gamma_{заг}$ )	Відношення деформації зворотної до загальної
Б <sub>греч</sub>	0,53	0,42	0,95	0,56
Б <sub>вівс</sub>	0,34	1,6	1,94	0,18
Б <sub>сорг</sub>	0,33	0,95	1,28	0,26
Б <sub>прос</sub>	0,21	1,37	1,58	0,13
Б <sub>кук</sub>	0,43	1,9	2,33	0,18
Б <sub>рис</sub>	0,3	1,44	1,74	0,17
Б <sub>кук</sub> 30/Б <sub>рис</sub> 70	0,85	0,25	1,10	0,77
Б <sub>кук</sub> 50/Б <sub>рис</sub> 50	0,41	1,02	1,43	0,29

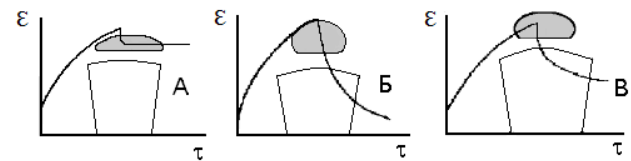


Рис. 3. Взаємозв'язок між об'ємом, розпливаємістю формового і подового хліба та величиною пружно-еластичної та пластичної деформації тіста

Джерело: [17]

Якщо показник пластичності дуже замалий (Б на рис. 3), спостерігається низький об'єм хліба. Найбільш збалансованими реологічними характеристиками відрізняється зразок В (рис. 3), а подібним до нього виявляється зразок тіста з борошняної суміші Б<sub>кук</sub> 30/Б<sub>рис</sub> 70 (В на рис. 2).

Інтерпретація реологічних досліджень зразків тіста з різних видів безглютенового борошна добре узгоджується з результатами лабораторних випікань безглютенового бездріжджового хліба (рис. 4, 5).

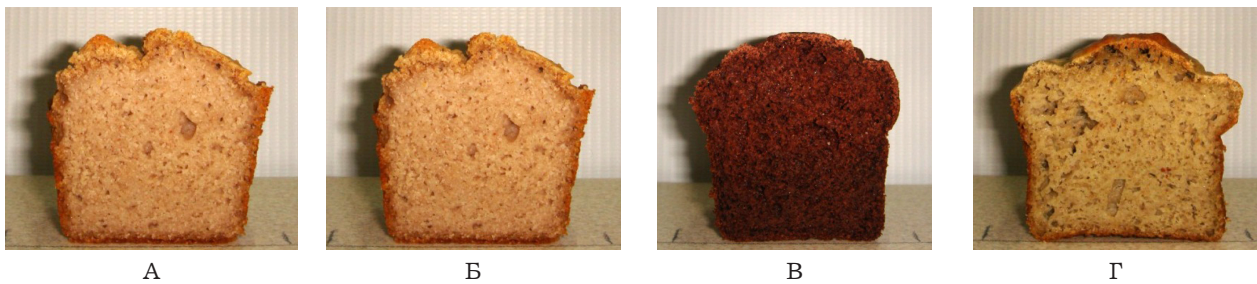


Рис. 4. Зовнішній вигляд бездріжджових хлібців та їх переріз із використанням різних видів безглютенового борошна: гречаного (А), вівсяного (Б), соргового (В) та просяного (Г)

Джерело: розроблено авторами

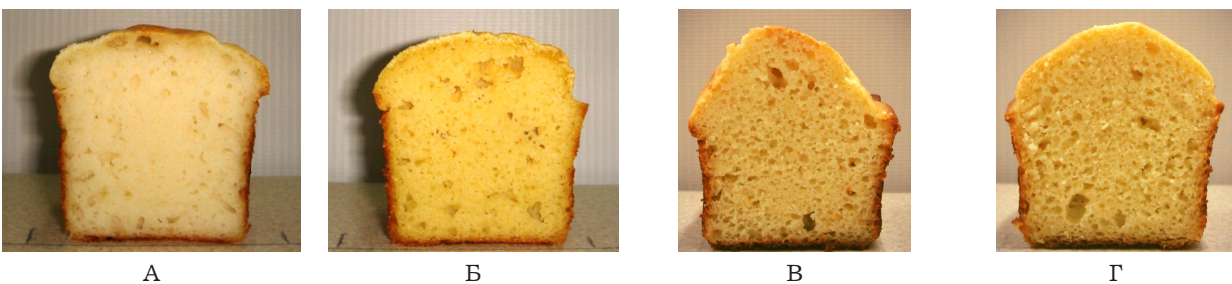


Рис. 5. Зовнішній вигляд бездріжджових хлібців та їх переріз із використанням різних видів безглютенового борошна: рисового (А), кукурудзяного (Б) та їх сумішей у співвідношенні 70:30 (В) і 50:50 (Г)

Джерело: розроблено авторами



**Висновки і пропозиції.** Усе вищевказане дозволяє обґрунтовано прогнозувати збереження основних якісних характеристик тіста під час його утворення та на початковому етапі випікання. Дослідженнями реологічних властивостей тіста, утвореного з різної борошняної сировини, доведено необхідність регулювання структурно-механічних властивостей тіста та готової

продукції, шляхом використання борошняних сумішей. Пружні властивості притаманні зернам набухлого крохмалю борошна, а білки володіють помітними еластичними властивостями.

Таким чином, для пояснення досліджуваних ефектів перспективним завданням є подальше вивчення білкового та вуглеводного комплексів безглютенового тіста.

### Список літератури:

1. Flour and breads and their fortification in health and disease prevention [Текст] / С.М. Rosell, V.R. Preedy, R.R. Watson, V.B. Patel // The science of doughs and bread quality. – 2011. – С. 3–14.
2. Reduced-gliadin wheat bread: an alternative to the gluten-free diet for consumers suffering gluten-related pathologies [Текст] / J. Gil-Humanes, F. Piston, R.A. Fortoul, V.B. Patel // PLoS ONE. – 2014. – №9. – С. 1–9.
3. Jeffrey L. Gluten-free baked products [Текст] / L.C. Jeffrey, W.A. Atwell // AACC International, Inc. – 2014. – 88 с.
4. Effect of hydrocolloids on gluten-free batter properties and bread quality [Текст] / L. S.Sciarini, P. D. Ribotta, A. E. Leon, G.T. Perez. // International Journal of Food Science and Technology. – 2010. – №45. – С. 2306–2312.
5. Sanchez H.D. Optimisation of gluten-free bread prepared from cornstarch, rice flour, and cassava starch [Текст] / H.D. Sanchez, C.A. Osella, D.T. MAG // Journal of Food Science. – 2002. – № 67. – С. 416–419.
6. Torbica A. Rheological, textural and sensory properties of glutenfree bread formulations based on rice and buckwheat flour [Текст] / A. Torbica, M. Hadnadev, T. Dapevic // Food Hydrocolloids. – 2010. – № 24. – С. 626–632.
7. Cauvain S.P. Technology of breadmaking / S.P. Cauvain, L.S. Young. – New York: NY: Springer, 2007. – 397 с.
8. Rheological properties of gluten-free bread formulations [Текст] / I. Demirkesen, B. Mert, G. Sumnu, S. Sahin // Journal of Food Engineering. – 2010. – №96. – С. 295–303.
9. Nitcheu Ngemakwe P.H. Advances in gluten-free bread technology [Текст] / P.H. Nitcheu Ngemakwe, M.Le Roes-Hill, V.A. Jideani // Food Science and Technology International. – 2014. – № 21. – С. 256–276.
10. Wassermann L. Bread improvers-action and application [Електронний ресурс] / L. Wassermann // Wissensforum Backwaren e.V.. – 2009. – Режим доступу до ресурсу: [http://www.wissensforum-backwaren.de/files/wfb\\_broschuere01\\_e.pdf](http://www.wissensforum-backwaren.de/files/wfb_broschuere01_e.pdf).
11. Ohimain E.I. Recent advances in the production of partially substituted wheat and wheatless bread [Текст] / Elijah I. Ohimain // European Food Research and Technology. – 2015. – № 240. – С. 257–271.
12. Sluimer P. Principles of breadmaking: functionality of raw materials and process steps / P. Sluimer. – St Paul: MN: American Association of Cereal Chemist, 2005. – 212 с.
13. Houben A. Possibilities to increase the quality in gluten-free bread production: an overview [Текст] / A. Houben, A. Hochstotter, T. Becker // European Food Research and Technology. – 2012. – №235. – С. 195–208.
14. Sorghum and maize [Текст] / T.J. Schober, S.R. Bean, E.K. Arendt, F. Dal Bello. // Gluten-free cereal products and beverages. – 2008. – С. 101–118.
15. Rheological and baking characteristics of batter and bread prepared from pregelatinised cassava starch and sorghum and modified using microbial transglutaminase / C. Onyango, C. Mutungi, G. Unbehend, M.G. Lindhauer // Journal of Food Engineering. – 2010. – № 97. – С. 465–470.
16. Extrusion of unleavened bread dough: Experiments and simulations [Текст] / M.A.P. Mohammed, L. Wanigasooriya, S. Chakrabarti-Bell, M.N. Charalambides // Journal of Rheology. – 2017. – № 61. – С. 49–65.
17. Мачихин Ю.А. Реометрия пищевого сырья и продуктов: Справочник / Ю.А. Мачихин. – Москва: Агропромиздат, 1990. – 271 с.

**Шанина О.Н., Гавриш Т.В. Галясний И.В., Дугина Е.В.**

Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенка

### РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БЕЗГЛУТЕНОВОГО БЕЗДРОЖЖЕВОГО ТЕСТА

#### Аннотация

В данной статье исследованы реологические свойства бездрожжевого теста с безглютенового сырья. Проанализированы альтернативные виды безглютеновой муки, которые могут применяться в технологии хлеба. Выявлены и обоснованы меры направленные на модификацию газодерживающей способности теста и пористости готовых безглютеновых хлебных изделий. Определено реологическое поведение бездрожжевого теста по различным видам безглютеновой муки и его взаимосвязь с качественными показателями конечного хлебопекарного продукта. Доказана необходимость регулирования структурно-механических свойств теста и готовой продукции путем использования мучных смесей.

**Ключевые слова:** безглютеновая мука, целиакия, упругость и пластичность теста, структурно-механические свойства, качественные характеристики теста.

**Shanina O.M., Gavrish T.V., Haliasnyi I.V., Dugina K.V.**

Petro Vasylenko Kharkiv National Technical University of Agriculture

## **RHEOLOGICAL PROPERTIES OF GLUTEN-FREE OF UNLEAVENED DOUGH**

### **Summary**

Rheological properties of unleavened dough with gluten-free raw materials are investigated in this article. Alternative gluten-free flours, which can be used in bread technology, are analyzed. Efforts directed towards modification of the dough gas-retaining ability and porosity of finished gluten-free breads are identified and justified. Rheological behavior of unleavened dough for various types of gluten-free flours and its interaction with the quality parameters of final bakery product is determined. Needs to regulate structural and mechanical properties of dough and final products using flour mixtures are proved.

**Keywords:** gluten-free flour, celiac disease, elasticity and plasticity of dough, structural and mechanical properties, quality characteristics of dough.