**Алієв Е. Б.**

д.т.н., старший дослідник

Дудін В.Ю.

к.т.н., доцент

Лупко К.О.докторка філософії, старша
викладачка**Дніпровський державний
аграрно-економічний
університет****Aliiev E**Doctor of Technical Sciences,
senior researcher**Dudin V.**

Ph.D., associate professor

Lupko K.

Ph.D., senior lecturer

**Dnipro State Agrarian and
Economic University****УДК 678.5:665.1****DOI: 10.37128/2306-8744-2025-2-12****МЕТОДИКА ОЦІНКИ
РЕОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ
ТІСТА З БОРОШНА,
ЗБАГАЧЕНОГО МАКУХОЮ
ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР, ІЗ
ЗАСТОСУВАННЯМ
МІКРОЕКСТЕСОГРАФА**

У роботі представлено розроблену та апробовану методику оцінки реологічних властивостей тіста з борошна, збагаченого макухою олійних культур, із застосуванням лабораторного мікроекстесографа. Розглянуто актуальність дослідження, обумовлену необхідністю створення функціональних борошняних виробів підвищеної харчової цінності за рахунок збагачення білково-жировими компонентами, при збереженні оптимальних технологічних характеристик тіста. Наведено опис конструкції та принципу роботи мікроекстесографа, який забезпечує можливість роботи з малими порціями зразків, що є важливим для експериментів із цінними або обмеженими компонентами. Деталізовано процедуру підготовки тіста, умови випробувань, а також методи реєстрації та інтерпретації екстенсограм.

Проведені дослідження дозволили встановити вплив зниження вмісту сирової клейковини (з 19,7 % до 11,9 %) на комплекс показників реологічних властивостей: максимальну стійкість (R_m), деформацію при максимальній стійкості (E_m), стійкість при 50 мм деформації (R_{50}), показник розтягу (E), відношення R_m/E та енергію розтягування (E_n). Результати свідчать, що зменшення вмісту клейковини супроводжується істотним зниженням пружності, пластичності та енергетичних характеристик тіста, що призводить до погіршення його стійкості до процесів бродіння та знижує формоутворювальні властивості. Це, у свою чергу, може негативно позначитися на якості готових хлібобулочних виробів – їх об'ємі, пористості та структурі м'якушки.

Запропонована методика може бути використана для наукових досліджень у галузі хлібопекарської технології, оцінки впливу нових інгредієнтів на тістоутворення, а також у промислових умовах для оптимізації рецептур і технологічних режимів. Вона є універсальною та придатною для вивчення широкого спектра сировинних композицій, що відкриває можливості для розробки нових продуктів функціонального призначення з покращеним харчовим профілем.

Ключові слова: реологічні властивості тіста, мікроекстесограф, екстенсограма, клейковина, макуха олійних культур, пружність, пластичність, енергія розтягування, якість борошна.



Вступ. Реологічні властивості тіста є ключовими показниками, що визначають якість та технологічні характеристики борошняних виробів. Зокрема, їх вплив на формоутворення, оброблюваність та кінцеві споживчі властивості є визначальним у процесі виробництва хлібобулочних виробів [1–2]. В останні роки зростає інтерес до збагачення борошна функціональними добавками, зокрема макухою олійних культур, що дозволяє покращити харчову цінність продуктів і розширити асортимент виробів із підвищеними біологічними властивостями [3–4].

Однак введення макухи у борошно суттєво впливає на структуру тіста, змінюючи його реологічні характеристики, що може ускладнювати технологічний процес і потребує детального вивчення [5]. Відсутність єдиних методичних підходів до оцінки таких змін гальмує впровадження нових рецептур на виробництві.

Застосування сучасних приладів [6–7], зокрема мікроекстесографа, дає змогу більш точно і чутливо визначати реологічні властивості тіста на різних стадіях обробки. Це створює передумови для розробки науково обґрунтованих рекомендацій щодо оптимізації рецептур і технологічних режимів.

Таким чином, розробка методики оцінки реологічних властивостей тіста з борошна, збагаченого макухою олійних культур, із застосуванням мікроекстесографа є актуальним завданням, що сприятиме підвищенню якості та конкурентоспроможності функціональних борошняних виробів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У сучасній науковій літературі велика увага приділяється вивченню реологічних властивостей тіста, особливо у контексті збагачення борошна функціональними добавками. Зокрема, макуха олійних культур стає все більш популярним інгредієнтом завдяки високому вмісту білка, клітковини та інших біологічно активних компонентів, які позитивно впливають на харчову цінність кінцевого продукту.

Так, у роботі [8] показано, що введення макухи соняшника у борошно призводить до зниження еластичності тіста та збільшення його водопоглинальної здатності, що обумовлено порушенням структури клейковини. Подібні результати наведені в дослідженні [9], де було встановлено вплив макухи рицини на реологічні параметри тіста та кінцеву якість хліба.

Традиційними інструментальними методами оцінки реології тіста є використання фаринографа, екстенсографа та амілографа. У роботах [10–12] детально описані переваги цих приладів у визначенні технологічних характеристик борошна, зокрема їх роль у контролі якості на виробництві.

Водночас, останнім часом дедалі більшого визнання набуває мікроекстесографія як метод

високочутливої оцінки механічних властивостей тіста на мікрорівні. Наприклад, дослідження [7] демонструють, що мікроекстесографія дозволяє більш точно відслідковувати зміни пружності та в'язкості тіста при додаванні різних функціональних інгредієнтів, зокрема макухи.

Підтвердженням ефективності цього підходу є робота [13], які описали застосування мікроекстесографа для вивчення впливу додавання макухи ріпаку на реологічні властивості тіста. Автори підкреслюють, що цей метод дає можливість краще зрозуміти механізми зміни структури тіста під час технологічного процесу.

Проте, незважаючи на значний обсяг досліджень, питання стандартизації методик [14–15] оцінки реології тіста з урахуванням добавок макухи олійних культур досі лишається відкритим. Нестача уніфікованих підходів ускладнює порівняння результатів та впровадження отриманих знань у промисловість.

Таким чином, аналіз сучасних публікацій підтверджує актуальність подальшої розробки методичних підходів із застосуванням сучасних високоточних приладів, таких як мікроекстесограф, для оцінки реологічних властивостей тіста з макухою олійних культур.

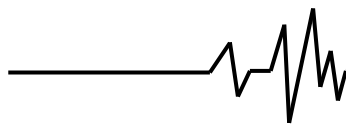
Мета та завдання дослідження.

Розробити та апробувати методику оцінки реологічних властивостей тіста з борошна, збагаченого макухою олійних культур, із застосуванням мікроекстесографа, для визначення впливу вмісту клейковини на показники міцності, пластичності та енергетичних характеристик тіста, з метою оптимізації рецептур і технологічних режимів виробництва борошняних виробів підвищеної харчової цінності.

Викладення основного матеріалу.

Розтяжність тіста – це міцність тіста, яка сприяє консистенції та якості кінцевої випічки. За розтяжністю тіста можна визначати властивості борошна і можливість його застосування для певних кондитерських цілей [16]. Під час замішування тіста клейковина борошна активується і створює як пластичні, так і еластичні (пружні) властивості тіста, або здатність розтягуватися і повертатися до своєї початкової форми. Однак, якщо одна з цих властивостей сильніша за іншу, тісто не сформується належним чином на етапі бродіння, вистоювання або випікання, оскільки тісто розширюється та втягується.

Для дослідження реологічних властивостей тіста з борошна, збагаченого макухою олійних культур, застосовується спеціально розроблений мікроекстесограф, створений на кафедрі інжинірингу технічних систем ДДАЕУ [18]. Цей прилад дозволяє комплексно оцінювати механічні параметри тіста, зокрема його розтяжність та опір розтягуванню, що є важливими показниками для характеристики



реології матеріалу. На рис. 1 представлено загальний вигляд мікроекстесографа з основними складовими: пристосуванням для вимірювання розтяжності та опору розтягуванню, гаком, блоком вимірювання зусилля, рухомою частиною, блоком вимірювання деформації, клавіатурою керування, інформаційним екраном та клавіатурою.



1 – пристосування для визначення розтяжності і опору розтягуванню тіста; 2 – гак; 3 – блок вимірювання зусилля; 4 – рухома частина; 5 – блок вимірювання деформації; 6 – клавіатура керування; 7 – інформаційний екран; 8 – кнопка перезавантаження

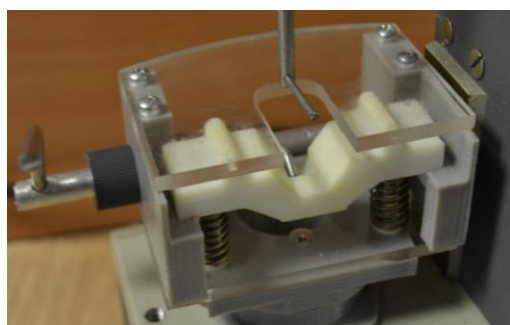
Рис. 1. Розроблений мікроекстесограф

Інтерфейс керування приладом забезпечує зручність налаштування параметрів тестування та оперативний контроль над процесом вимірювання. Для підготовки зразків використовується спеціальне пристосування, яке зображено на рис. 2. Воно включає прес-форму для формування однакових за розміром і формою зразків, струбцину для надійного фіксування прес-форми та лопатку для акуратного встановлення зразків у прилад. Це дозволяє забезпечити високу точність і відтворюваність результатів досліджень.

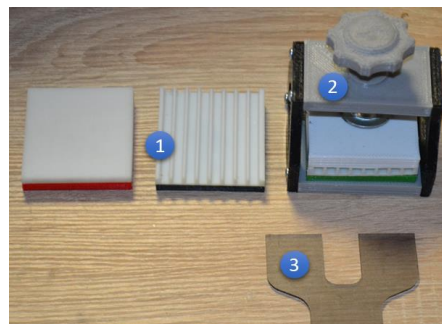
Застосування даного аналізатора текстури дає можливість проводити детальний і точний аналіз реологічних властивостей тіста, що особливо важливо при вивченні впливу функціональних добавок, таких як макуха олійних культур.

Для підготовки дослідних зразків тісто замішували із розрахунку: борошно – 65,7 %, дистильована вода – 33 %, хлорид натрію – 1,3 %. На початковому етапі хлорид натрію розчиняли у дистильованій воді, після чого отриманий сольовий розчин додавали до борошна. Суміш ретельно перемішували у тістомісильній машині до досягнення однорідної консистенції.

Перед формуванням зразків внутрішню поверхню прес-форми змащували тонким шаром парафінового або силіконового мастила з метою запобігання прилипання тіста. Далі в прес-форму завантажували 25 ± 1 г підготовленого тіста, після чого форму закріплювали в струбцині для надання зразку необхідної форми та розмірів. Надлишок тіста, що виступав за краї форми, акуратно видаляли за допомогою шпателя. Сформовані зразки, затиснуті у прес-формі, поміщали до термостата, де їх витримували протягом 45 хв при температурі 30°C для процесу розстоювання.



а



б

1 – прес-форма для приготування зразків; 2 – струбцина для затискання прес-форм; 3 – лопатка для встановлення зразків

Рис. 2. Пристосування для визначення розтяжності і опору розтягуванню тіста (а) та допоміжні елементи (б)

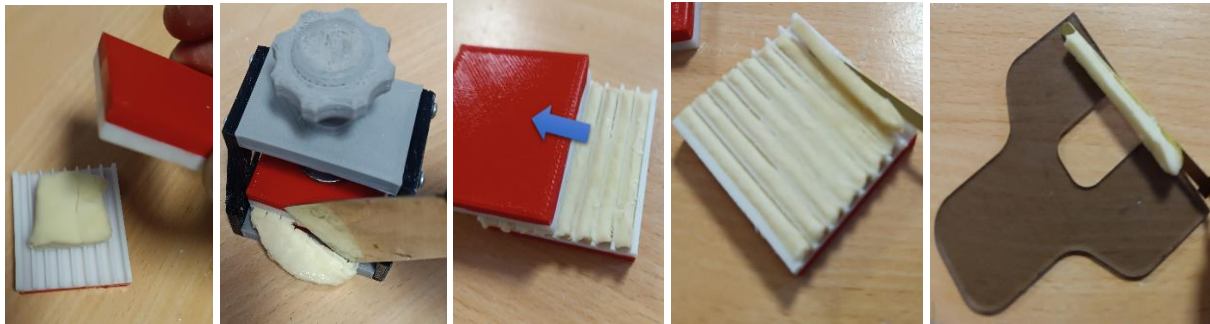
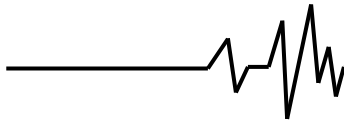


Рис. 3. Формування дослідного зразка

Після завершення розстоювання прес-форму виймали зі струбцини та розкривали, зсуваючи пласку частину відносно формуючої у площині, перпендикулярній до осі зразків. За допомогою спеціального маніпулятора зразок обережно видаляли з прес-форми та розміщували його на випробувальній лопатці. Перед початком тестування випробувальний гак переводили в нижнє положення, після чого змащували його силіконовим мастилом для зменшення тертя. Лопатку зі зразком встановлювали у пристосування для визначення розтяжності та опору розтягуванню тіста (пристрій Кіффера). Далі аналізатор текстури під'єднували до персонального комп'ютера через USB-кабель і запускали програмне забезпечення Arduino IDE. Після цього відкривали «Монітор порту» у середовищі Arduino IDE і на панелі керування приладом ініціювали процес розтягнення зразка. Випробування тривало до моменту розриву зразка та автоматичної зупинки руху випробувального гака. Отримані дані у вигляді числових значень копіювали з вікна «Монітор порту» та переносили в електронну таблицю MS Excel для подальшої обробки та аналізу. Після завершення кожного вимірювання залишки тіста видаляли з пристосування, гак

повертали у вихідне нижнє положення, і процедура повторювалася для наступного зразка (рис. 4).

Процес розтягу тіста відображається на екстенсограмах, тобто графіках залежностей прикладених зусиль від деформації тіста. На підставі отриманих екстенсограм можна отримати надійні дані про хлібопекарські властивості тіста. Виявити та визначити якість борошна для випікання, вплив добавок для збагачення борошна тощо.

Екстенсограма процесу розтягу тіста приведена на рис. 5. Проведемо опис представленої екстенсограми. Початковий етап розтягування до максимальної пікової сили визначає пружну деформацію тіста. Тут максимальна пікова сила є міра міцності зразка на розрив (межа пружності); чим вище значення, тим більше пружна складова. Після досягнення межі пружності починається пластична деформація тіста: збільшення деформації практично не спричиняє росту сили. В деякий момент спостерігається різке падіння сили при подальшій деформації. Це проявляється розрив тіста. Зменшення сили до нульового значення свідчить про повний розрив тіста.

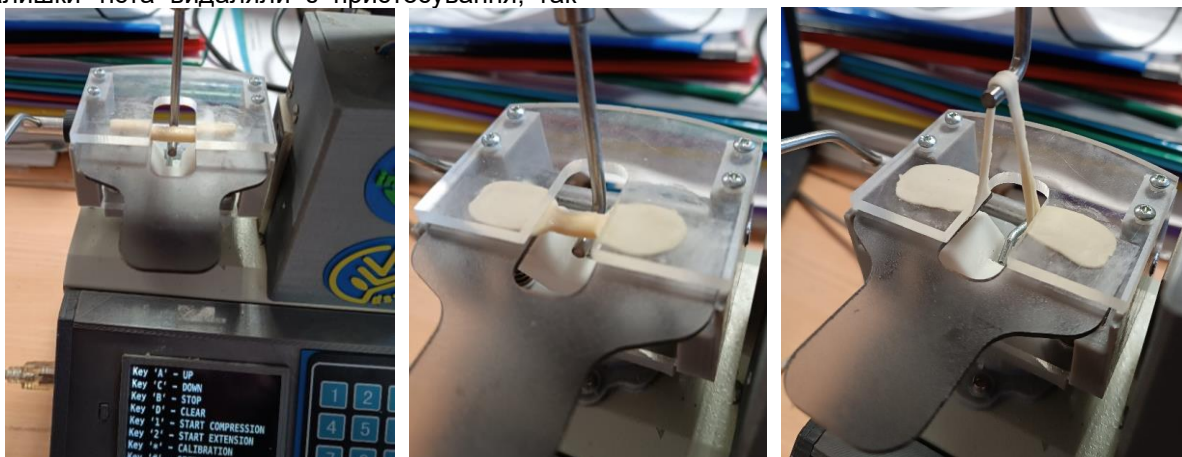


Рис. 4. Встановлення зразка тіста до пристосування Кіффера і запуск процесу випробування

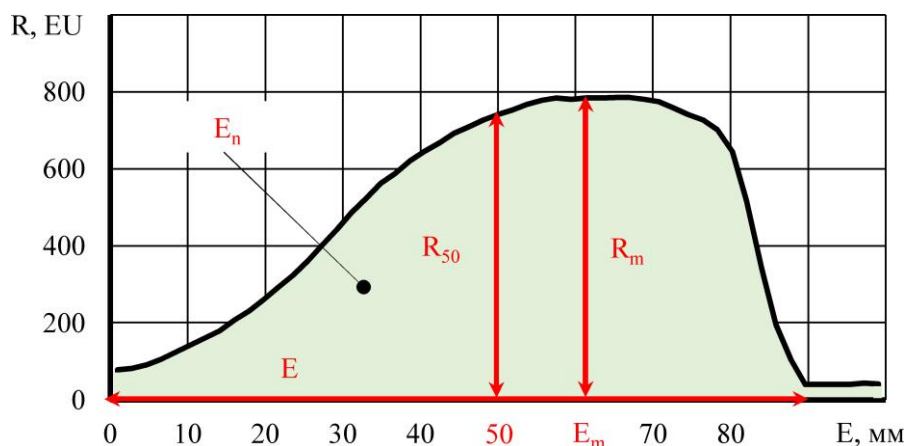
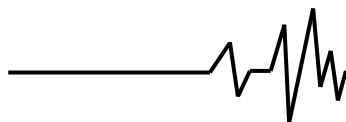


Рис. 5. Екстенсограма процесу розтягу тіста

На рис. 5 наведені основні величини, які необхідно визначати для числової оцінки реологічних властивостей тіста.

Максимальна стійкість R_m . За максимальне значення стійкості до розтягування приймають середнє значення максимальних висот кривих екстенсографічних двох аналізованих проб тесту, за умови, що відмінності між ними не перевищують 15 % їх середнього значення. Максимальна стійкість є мірою міцності зразка на розрив (межа пружності): чим вище значення, тим більше пружна складова тіста.

Деформація при максимальній стійкості E_m – значення деформації при якій досягається максимальна стійкість R_m .

Стійкість за постійної деформації R_{50} . Деякі дослідники вважають за краще вимірювати висоту кривої екстенсограми при фіксованому розтягу аналізованої проби, як правило, що відповідає 50 мм деформації. Це пояснюється тим, що при цій деформації спостерігається лінійний характер кривої екстенсограми, тобто повністю відповідає пружній деформації. За результат стійкості до розтягування при постійній деформації приймають середнє значення висоти кривих екстенсограми при 50 мм деформації за умови, що різниця між ними по висоті, отримана при випробуванні двох проб тесту не перевищує 15 % їх середнього значення.

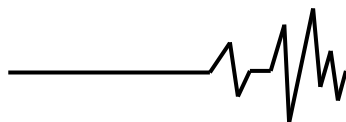
Розтяг E характеризують максимальну деформацію при якій спостерігається розрив зразка тіста та/або досягнення нульового значення сили. На екстенсограмі розрив позначається або плавним падінням кривої майже нульового значення, або різким порушенням форми кривої. Після моменту розриву хід запису залежить від інерції системи важеля і інтервалу часу між розривом тесту аналізованої проби. Для вимірювання значення розтягу екстенсографічна крива ймовірно повинна продовжуватися від точки розриву

вздовж лінії ординат до нульового значення навантаження. В свою чергу розтяг характеризує пластичність тіста. Тісто з дуже великим розтягом і малою силою м'яке і липке, має текучі властивості. Для правильного визначення точки розриву на кривій необхідно спостерігати за пробою тесту, що аналізується, в момент розриву. За розтяг приймають середню відстань на екстенсографічних кривих, отриманих при випробуванні двох проб тесту, за умови, що різниця між ними не перевищує 9 % їх середнього значення.

Енергію E_n визначають за площею під записаною кривою екстенсограми. Енергія характеризує роботу, витрачену на розтяг зразка тіста. Площу вимірюють планіметром або з використання аналітичних програм і виражають у квадратних сантиметрах. Енергія характеризує очікувану прийнятність до бродіння тіста. Високі і довгі криві призводять до великих енергетичних цінностей і характеризують тісто з доброю стійкістю до бродіння і хорошою властивістю утримувати газ.

Відношення R_m/E характеризує відношення максимальної стійкості до розтягу. Відношення R_m/E є додатковим показником, що характеризує властивості тесту. Борошно з малим відношенням призводить до м'якого, розтяжного і нестійкого тіста, тоді як борошно з великим числом відношення забезпечує згодом застигаюче і еластичне тісто.

Абсолютне значення розподілу між двома незалежними єдиними результатами випробувань, отримане при використанні одного і того ж методу визначення, на одному і тому ж досліджуваному матеріалі, в одній і тій же лабораторії, одним і тим же оператором, з використанням одного і того ж обладнання, в межах короткого інтервалу часу не повинно бути більше, ніж у 5 % випадків перевищувати значення, наведені в табл. 1.



Таблиця 1
Повторність результатів вимірювань
екстенсограми

Показник	Відхилення
Максимальна стійкість R_m , EU	$\pm 66,79$
Розтяг E , мм	$\pm 15,50$
Відношення R_m/E	$\pm 0,80$
Енергія E_n , см^2	$\pm 14,12$

Комплексна оцінка зазначених

показників визначає якість борошна і можливість його застосування, про що свідчить табл. 2.

Аналіз приведених даних показує, що для забезпечення необхідної якості і консистенції тіста необхідно знати закономірність процесу розтягу приготовленого тіста – екстенсограму. Це дозволить винести певні корективи в його рецепт (формулу) та/або у технологічний процес його приготування.

Таблиця 2

Властивості тіста в залежності від показників екстенсограм

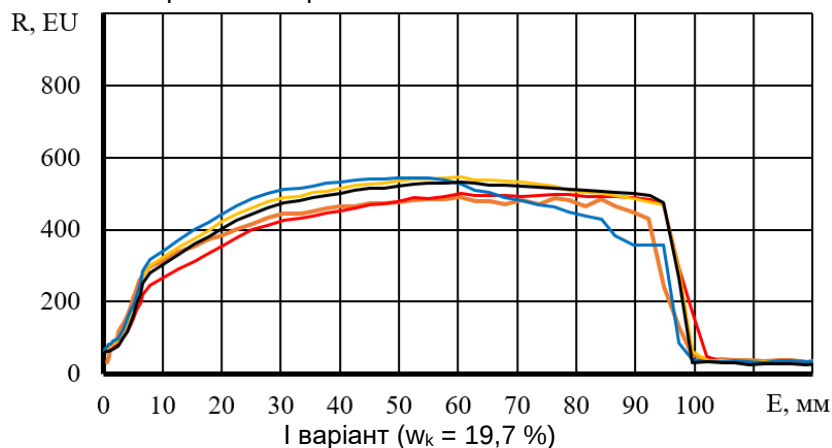
Показник	Слабка якість борошна	Середня якість борошна	Найкраща якість борошна
Енергія E_n , см^2	50–80	80–110	110–140
Відношення R_m/E	1–3	3–5	5–9
Властивості тіста	м'яке, вологе нестійке тісто, пластичні властивості, низька переносимість бродіння	нормальні властивості, хороша оброблюваність	сухе, згодом застигає, еластичні властивості
Властивості випічки	плоскі випічки з невеликим об'ємом і майже невиразною скоринкою	звичайна форма випічки, звичайний об'єм випічки	кругла «піднята» випічка невеликого об'єму

Для перевірки представленої методики були проведення дослідження реологічних властивостей тіста з борошна, збагаченого макухою гірчиці, яка отримана в результаті холодного пресування. Буди отримані екстенсограми процесу розтягу тіста (масою 76 г) із складом: 50 г пшеничного борошна + 25 води + 1 г солі (I варіант); 40 г пшеничного борошна + 10 г борошна з гірчицею макухи + 25 води + 1 г солі (II варіант); 30 г пшеничного борошна + 20 г борошна з гірчицею макухи + 25 води + 1 г солі (III варіант). Пшеничне борошно використовувалось вищого гатунку із вмістом клейковини – 30 %. В борошні з гірчицею

макухи клейковини немає. Тоді вміст клейковини для кожного з варіантів складає:

- I варіант: $w_k = 100 \% \cdot (30 \% \cdot 50 \text{ г} / 100 \text{ г}) / 76 \text{ г} = 19,7 \%$;
- II варіант: $w_k = 100 \% \cdot (30 \% \cdot 40 \text{ г} / 100 \text{ г}) / 76 \text{ г} = 15,8 \%$;
- III варіант: $w_k = 100 \% \cdot (30 \% \cdot 30 \text{ г} / 100 \text{ г}) / 76 \text{ г} = 11,9 \%$.

Для кожного варіанту складу тіста було отримано по 5 екстенсограм його розтягу. Графіки отриманих екстенсограм розтягу тіста із різним вмістом клейковини наведений на рис. 6.



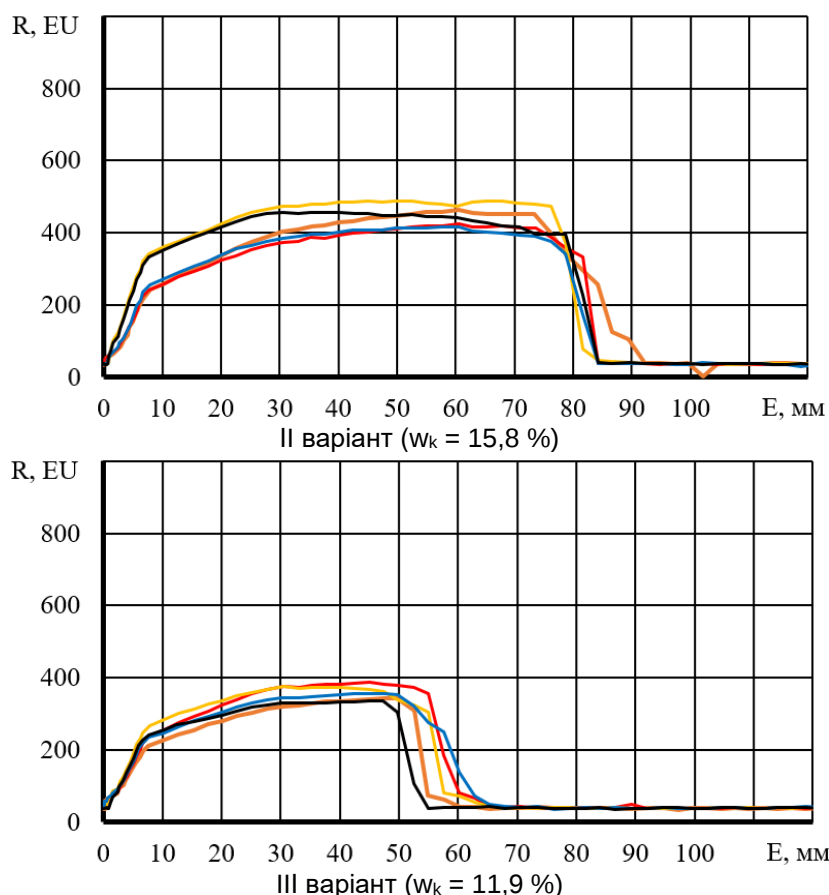
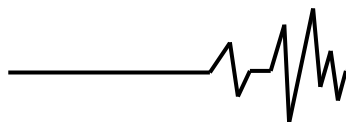


Рис. 6. Екстенсограми розтягу тіста із різним вмістом клейковини

Згідно наведеної вище методики визначені основні показники числової оцінки реологічних властивостей тіста (табл. 2): максимальна стійкість R_m (EU); деформація при максимальній стійкості E_m (мм); стійкість при 50 мм деформації R_{50} (EU); розтяг E (мм); відношення R_m/E ; енергія E_n (см²).

Аналіз даних табл. 2 показує чітку закономірність між вмістом клейковини в борошняній суміші та комплексом реологічних показників тіста, отриманих за результатами

екстенсографічних випробувань. Зі зменшенням вмісту клейковини з 19,7 % до 11,9 % спостерігається значне зниження максимальної стійкості (R_m) з 522,8 EU до 359,5 EU, що свідчить про зменшення пружної складової тіста та його здатності чинити опір розтягу. Така тенденція пояснюється тим, що саме клейковина формує еластичний каркас, який утримує гази під час бродіння та випікання.

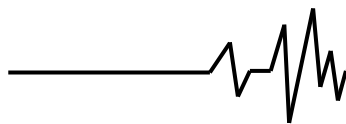
Таблиця 2

Зведені дані показників числової оцінки реологічних властивостей тіста із різним вмістом клейковини

Показник	Середнє значення			Відхилення		
Вміст клейковини w_k , %	19,7	15,8	11,9	19,7	15,8	11,9
Максимальна стійкість R_m , EU	522,8	449,6	359,5	23,9	26,6	19,7
Деформація при максимальній стійкості E_m , мм	58,3	52,3	43,2	4,3	9,3	6,5
Стійкість при 50 мм деформації R_{50} , EU	511,0	440,6	343,4	28,6	28,8	24,2
Розтяг E , мм	101,1	85,8	62,2	1,2	3,2	4,1
Відношення R_m/E	5,1	5,1	5,5	0,3	0,4	0,2
Енергія E_n , см ²	97,6	67,8	37,5	3,9	3,7	2,7

Деформація при максимальній стійкості (E_m) зменшується з 58,3 мм до 43,2 мм, що означає досягнення межі пружності при менших розтягуваннях та свідчить про погіршення структури клейковинної сітки.

Стійкість при 50 мм деформації (R_{50}) також зменшується від 511,0 EU до 343,4 EU, що вказує на зниження пружності й стабільності тіста навіть у зоні лінійної деформації. Максимальний розтяг тіста (E) різко падає з



101,1 мм до 62,2 мм, що є прямим індикатором зменшення пластичності та здатності тіста витримувати значні деформації без розриву.

Відношення R_m/E залишається відносно стабільним (5,1–5,5) для всіх варіантів, що свідчить про збереження пропорції між міцністю на розтяг і максимальною пластичністю, хоча абсолютні значення обох показників знижуються. Енергетичний показник (E_n), який характеризує роботу, витрачену на розтяг, зменшується від 97,6 см² до 37,5 см², що критично важливо, адже низькі значення E_n вказують на зниження здатності тіста витримувати тривале бродіння та утримувати газу. Відповідно до класифікації, I варіант (19,7 % клейковини) з $E_n = 97,6$ см² відповідає середній якості борошна з доброю оброблюваністю тіста та достатньою стійкістю до бродіння; II варіант (15,8 % клейковини) з $E_n = 67,8$ см² належить до слабкої якості борошна, що дає м'яке та менш стійке тісто з можливими проблемами об'єму й форми випічки; III варіант (11,9 % клейковини) з $E_n = 37,5$ см² також відноситься до слабкої якості борошна з високою ймовірністю отримання нестійкого тіста з низьким газоутриманням і плоскою випічкою. Загалом зменшення вмісту клейковини призводить до пропорційного зниження R_m , R_{50} , E_m , E та E_n , що негативно впливає на якість тіста й готових виробів. Додавання борошна з гірчиної макухи потребує коригування рецептури шляхом збільшення частки пшеничного борошна з високим вмістом клейковини або введення поліпшувачів для збереження необхідних технологічних властивостей тіста.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Запропонована методика з використанням розробленого мікроекстесографа забезпечує точне та відтворюване вимірювання ключових реологічних показників тіста (максимальної стійкості R_m , деформації при максимальній стійкості E_m , стійкості при 50 мм деформації R_{50} , розтягу E , відношення R_m/E та енергії E_n), що дає змогу комплексно оцінити якість борошна та його придатність для різних технологічних цілей.

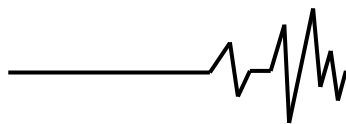
Дослідження показали, що зменшення вмісту клейковини від 19,7 % до 11,9 % призводить до суттєвого зниження пружних і пластичних властивостей тіста, зокрема зменшення максимальної стійкості до розтягування на 31 %, розтягу — на 38 %, а енергії розтягу — майже у 2,6 раза.

Встановлено, що макуха олійних культур, збагачуючи продукт білком і клітковиною, водночас знижує здатність тіста утримувати газу та витримувати значні деформації, що потребує коригування рецептури або технологічних режимів.

Методика може бути використана для наукових досліджень та виробничого контролю при розробці функціональних борошняних виробів із заданими структурно-механічними властивостями.

Список використаних джерел

1. Kravchenko M., Piddubnyi B., Romanovska O. Functional and technological properties of flour mixtures for dough. *International scientific-practical journal commodities and markets*, 2023, 47 (3), 125–134. DOI: [https://doi.org/10.31617/2.2023\(47\)09](https://doi.org/10.31617/2.2023(47)09)
2. Pismennyi O., Nikonchuk N., Shevchuk N., Petrova O., Sydoryka I. Research of quality indicators of different types of wholegrain flour. *Scientific Horizons*, 2023, 26(8), 72–82. DOI: <https://doi.org/10.48077/scihor8.2023.72>
3. Bárta J., Bártová V., Jarošová M., Švajner J., Smetana P., Kadlec J., Filip V., Kyselka J., Berčíková M., Zdráhal Z., Bjelková M., Kozak M. Oilseed Cake Flour Composition, Functional Properties and Antioxidant Potential as Effects of Sieving and Species Differences. *Foods*, 2021, 10(11), 2766. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods10112766>
4. Grahovac N., Aleksić M., Trajkovska B., Marjanović Jeromela A., Nakov G. Extraction and Valorization of Oilseed Cakes for Value-Added Food Components – A Review for a Sustainable Foodstuff Production in a Case Process Approach. *Foods*, 2025, 14(13), 2244. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods14132244>
5. Kaur M., Singh B., Kaur A. Influence of different oilseed cake incorporation on batter rheology, proximate composition, texture, antioxidant and sensory properties of wheat flour muffins. *International Journal of Food Science and Technology*, 2022, 57 (11), 7107–7115. DOI: <https://doi.org/10.1111/ijfs.16050>
6. Cardone G., D'Incecco P., Casiraghi M.C., Marti A. Exploiting Milling By-Products in Bread-Making: The Case of Sprouted Wheat. *Foods*, 2020, 9(3), 260. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods9030260>
7. Dunnewind B., Sliwinski E.L., Grolle K., Van Vliet T. The Kieffer dough and gluten extensibility rig - An experimental evaluation. *Journal of Texture Studies*, 2007, 34 (5–6), 537–560. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.2003.tb01080.x>
8. Istrate A.-M., Gontariu I., Hoffman D. Research on the influence of the addition of sunflower seed flour on rheological properties of the dough. *International Journal of Advanced Multidisciplinary Research*, 2022, 9 (3), 106–113. DOI: <http://dx.doi.org/10.22192/ijamr.2022.09.03.009>
9. Bilyk O., Bondarenko Y.,



Hryshchenko A., Drobot V., Kovbasa V., Shutyuk V. Studying the effect of sesame flour on the technological properties of dough and bread quality. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2018, 3(11 (93), 6–16. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.133233>

10. Marie H., Svec I., Ivana J. Chemometrics of Wheat Composites with Hemp, Teff, and Chia Flour: Comparison of Rheological Features. *International Journal of Food Science*, 2013, 1, 968020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1155/2013/968020>

11. Zhao Z., Li L., Li W., Tian Y., Zhang Y., Zhang Y., Ibbas M. I., He Z., Hao Y., Tian W. Rapid evaluation of Farinograph and Extensograph characteristics in bread wheat using near-infrared spectroscopy and chemometrics. *Food Research International*, 2025, 218, 116915. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2025.116915>

12. Алієв, Е. Б., Миколенко, С. Ю., Сова, Н. А., Алієва О. Ю., Малєгін Р. Д., Лупко К. О., Лінко М. О., Гезь Я. В., Безугла Л. С. Техніко-технологічне забезпечення безвідходної переробки зернової сировини у харчові продукти і корми: колективна монографія / за заг. ред. Е. Б. Алієва. Дніпро: ЛІРА. 2022. 192 с. ISBN 978-966-981-687-0.

13. Миколенко С. Ю., Алієв Е. Б., Алієва О. Ю., Долгих Д. О. Структурно-механічні характеристики хлібних виробів із різним вмістом борошна амаранту. *Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур НААН*, 2022, 32, 132–142. DOI: <https://doi.org/10.36710/IOC-2022-32-13>

14. EN ISO 5530-1:2014. Wheat flour – Physical characteristics of doughs – Part 1: Determination of water absorption and rheological properties using a farinograph. 33 p.

15. EN ISO 5530-2:2014. Wheat flour – Physical characteristics of doughs – Part 2: Determination of rheological properties using an extensograph. 21 p.

16. Young L. S. 22 – Applications of texture analysis to dough and bread. In *Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition. Breadmaking (Second Edition)*. Editor(s): Stanley P. Cauvain. Woodhead Publishing, 2012, 562–579. DOI: <https://doi.org/10.1533/9780857095695.3.562>

17. Dobraszczyk B.J. 18 – Measuring the rheological properties of dough. In *Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition. Bread Making*, Woodhead Publishing. Editor(s): Stanley P. Cauvain, 2003, 375–400. DOI: <https://doi.org/10.1533/9781855737129.2.375>

18. Алієв Е. Б., Миколенко С. Ю., Дудін В. Ю. Патент України на корисну модель 151728, МПК (2006) G01N 3/44 (2006.01), G01N 19/00, G01B 3/00. Пристрій для автоматичного

визначення структурно-механічних властивостей харчових мас. Заявник: Дніпровський державний аграрно-економічний університет, № u202106596. Заявл. 08.09.2022. Опубл. 07.09.2022, бюл. № 36.

References

1. Kravchenko M., Piddubnyi B., Romanovska O. (2023). Functional and technological properties of flour mixtures for dough. *International scientific-practical journal commodities and markets*. 47 (3), 125–134. DOI: [https://doi.org/10.31617/2.2023\(47\)09](https://doi.org/10.31617/2.2023(47)09)

2. Pismennyi O., Nikonchuk N., Shevchuk N., Petrova O., Sydoryka I. (2023). Research of quality indicators of different types of wholegrain flour. *Scientific Horizons*, 26(8), 72–82. DOI: <https://doi.org/10.48077/scihor8.2023.72>

3. Bárta J., Bártová V., Jarošová M., Švajner J., Smetana P., Kadlec J., Filip V., Kyselka J., Berčíková M., Zdráhal Z., Bjelková M., Kozak M. (2021). Oilseed Cake Flour Composition, Functional Properties and Antioxidant Potential as Effects of Sieving and Species Differences. *Foods*, 10(11), 2766. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods10112766>

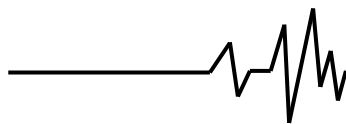
4. Grahovac N., Aleksić M., Trajkovska B., Marjanović Jeromela A., Nakov G. (2025). Extraction and Valorization of Oilseed Cakes for Value-Added Food Components – A Review for a Sustainable Foodstuff Production in a Case Process Approach. *Foods*, 14(13), 2244. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods14132244>

5. Kaur M., Singh B., Kaur A. (2022). Influence of different oilseed cake incorporation on batter rheology, proximate composition, texture, antioxidant and sensory properties of wheat flour muffins, *International Journal of Food Science and Technology*, 57 (11), 7107–7115. DOI: <https://doi.org/10.1111/ijfs.16050>

6. Cardone G., D'Incecco P., Casiraghi M.C., Marti A. (2020). Exploiting Milling By-Products in Bread-Making: The Case of Sprouted Wheat. *Foods*, 9(3), 260. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods9030260>

7. Dunnewind B., Sliwinski E.L., Grolle K., Van Vliet T. (2007). The Kieffer dough and gluten extensibility rig - An experimental evaluation. *Journal of Texture Studies*, 34 (5–6), 537–560. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.2003.tb01080.x>

8. Istrate A.-M., Gontariu I., Hoffman D. (2022). Research on the influence of the addition of sunflower seed flour on rheological properties of the dough. *International Journal of Advanced Multidisciplinary Research*, 9 (3), 106–113. DOI: <http://dx.doi.org/10.22192/ijamr.2022.09.03.009>



9. Bilyk O., Bondarenko Y., Hryshchenko A., Drobot V., Kovbasa V., Shutuyuk V. (2018). Studying the effect of sesame flour on the technological properties of dough and bread quality. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3(11 (93), 6–16. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.133233>

10. Marie H., Svec I., Ivana J. (2013). Chemometrics of Wheat Composites with Hemp, Teff, and Chia Flour: Comparison of Rheological Features. *International Journal of Food Science*, 1, 968020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1155/2013/968020>

11. Zhao Z., Li L., Li W., Tian Y., Zhang Y., Zhang Y., Ibbas M. I., He Z., Hao Y., Tian W. (2025). Rapid evaluation of Farinograph and Extensograph characteristics in bread wheat using near-infrared spectroscopy and chemometrics. *Food Research International*, 218, 116915. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2025.116915>

12. Aliiev, E. B., Mykolenko, S. YU., Sova, N. A., Aliyeva O. YU., Malyehin R. D., Lupko K. O., Linko M. O., Hez' YA. V., Bezuhla L. S. (2022). *Tekhniko-tehnologichne zabezpechennya bezvidkhodnoyi pererobky zernovoyi syrovyny u kharchovi produkty i kormy: kolektyvna monohrafiya [Technical and technological support for waste-free processing of grain raw materials into food products and feed: collective monograph]* / za zah. red. E. B. Aliyeva. Dnipro: LIRA. 192 s. ISBN 978-966-981-687-0. [in Ukrainian].

13. Mykolenko S. YU., Aliiev E. B., Aliyeva O. YU., Dolhikh D. O. (2022). Strukturno-mekhanichni kharakterystyky khlibnykh vyrobiv iz riznym vmistom boroshna amarantu [Structural and mechanical characteristics of bread products with different contents of amaranth flour]. *Naukovo-tekhnichnyy byuletyn' Instytutu oliynykh kul'tur NAAN*, 32, 132–142. DOI: <https://doi.org/10.36710/IOC-2022-32-13> [in Ukrainian].

14. EN ISO 5530-1:2014. Wheat flour – Physical characteristics of doughs – Part 1: Determination of water absorption and rheological properties using a farinograph. 33 p.

15. EN ISO 5530-2:2014. Wheat flour – Physical characteristics of doughs – Part 2: Determination of rheological properties using an extensograph. 21 p.

16. Young L. S. (2012). 22 – Applications of texture analysis to dough and bread. In *Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition. Breadmaking (Second Edition)*. Editor(s): Stanley P. Cauvain. Woodhead Publishing. 562–579. DOI: <https://doi.org/10.1533/9780857095695.3.562>

17. Dobraszczyk B.J. (2003). 18 – Measuring the rheological properties of dough. In *Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition. Bread Making*,

Woodhead Publishing. Editor(s): Stanley P. Cauvain. 375–400. DOI: <https://doi.org/10.1533/9781855737129.2.375>.

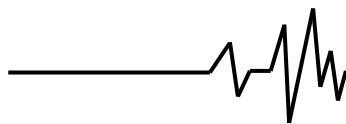
18. Aliiev E. B., Mykolenko S. Yu., Dudin V. Yu. (2022). Patent Ukrayiny na korysnu model' 151728, MPK (2006) G01N 3/44 (2006.01), G01N 19/00, G01B 3/00. Prystryi dlya avtomatychnoho vyznachennya strukturno-mekhanichnykh vlastyvostryey kharchovykh mas [Device for automatic determination of structural and mechanical properties of food masses]. Zayavnyk: Dniprovskyy derzhavnyy ahrarno-ekonomichnyy universytet, № u202106596. Zayavl. 08.09.2022. Opubl. 07.09.2022, byul. № 36. [in Ukrainian].

METHODOLOGY FOR ASSESSING THE RHEOLOGICAL PROPERTIES OF DOUGH FROM FLOUR ENRICHED WITH OILSEED PRESS CAKE USING A MICRO- EXTENSOGRAPH

The paper presents a developed and tested methodology for evaluating the rheological properties of dough made from flour enriched with oilseed press cake using a laboratory micro-extensograph. The relevance of the study is highlighted by the need to create functional bakery products with increased nutritional value through enrichment with protein-fat components while maintaining optimal technological characteristics of the dough. The design and operating principle of the micro-extensograph are described, emphasizing its ability to work with small sample portions, which is important for experiments involving valuable or limited components. The procedure for dough preparation, testing conditions, as well as methods for recording and interpreting extensograms, are detailed.

The conducted studies made it possible to establish the effect of reducing raw gluten content (from 19.7% to 11.9%) on a set of rheological property indicators: maximum resistance (R_m), deformation at maximum resistance (E_m), resistance at 50 mm deformation (R_{50}), extensibility (E), the ratio R_m/E , and stretching energy (E_n). The results indicate that a decrease in gluten content is accompanied by a significant reduction in dough elasticity, plasticity, and energy characteristics, which leads to a deterioration in its resistance to fermentation processes and reduces its shaping properties. This, in turn, may adversely affect the quality of finished bakery products — their volume, porosity, and crumb structure.

The proposed methodology can be used for scientific research in bakery technology, for evaluating the impact of new ingredients on dough formation, as well as in industrial conditions to optimize formulations and technological regimes. It is universal and suitable for studying a wide range



of raw material compositions, opening opportunities for the development of new functional products with improved nutritional profiles.

Key words: dough rheological properties, micro-extensograph, extensogram, gluten, oilseed press cake, elasticity, plasticity, stretching energy, flour quality.

Відомості про авторів

Алієв Ельчин Бахтияр огли – доктор технічних наук, старший дослідник, професор кафедри інжинірингу технічних систем Дніпровського державного аграрно-економічного університету (вул. Сергія Єфремова, 25, м. Дніпро, Україна, 49000, e-mail: aliev@meta.ua, <https://orcid.org/0000-0003-4006-8803>)

Дудін Володимир Юрійович – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри інжинірингу технічних систем Дніпровського державного аграрно-економічного університету (вул. Сергія Єфремова, 25, м. Дніпро, Україна, 49000, e-mail: dudin.v.yu@dsau.dp.ua, <https://orcid.org/0000-0002-1414-7690>)

Лупко Кристина Олегівна – докторка філософії, старша викладачка кафедри інжинірингу технічних систем Дніпровського державного аграрно-економічного університету (вул. Сергія Єфремова, 25, м. Дніпро, Україна, 49000, e-mail: KristinaL97@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-9237-5659>)

Elchyn Aliiev – Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher, Professor of the Departments of Mechanization of Production Processes in Animal Husbandry of Dnipro State Agrarian and Economic University (St. S. Efremova, 25, Dnipro, Ukraine, 49000, e-mail: aliev@meta.ua, <https://orcid.org/0000-0003-4006-8803>).

Volodymyr Dudin – Ph.D., Senior Lecturer of the technical systems engineering department of Dnipro State Agrarian and Economic University (St. S. Efremova, 25, Dnipro, Ukraine, 49000, e-mail: dudin.v.yu@dsau.dp.ua, <https://orcid.org/0000-0002-1414-7690>).

Krystyna Lupko – recipient of the third educational and scientific level of the Dnipro State Agrarian and Economic University (St. S. Efremova, 25, Dnipro, Ukraine, 49000, e-mail: KristinaL97@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-9237-5659>).