

РОЗДІЛ III. ХІМІЧНІ ТА ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

DOI: [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2025-2\(40\)-325-337](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2025-2(40)-325-337)

УДК 664.681:620.182.5

**Дмитро Олександрович Жигунов¹, Михайло Олександрович Ковальов²,
Наталія Василівна Хоренжий³, Василина Петрівна Ковальова⁴**

¹доктор технічних наук, завідувач кафедри технології зернових продуктів, хліба і кондитерських виробів
Одеський національний технологічний університет (Одеса, Україна)

E-mail: dimius75@gmail.com. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-9435-2266>. **ResearcherID:** D-1372-2015

²кандидат технічних наук, старший викладач кафедри технології зернових продуктів, хліба і кондитерських виробів
Одеський національний технологічний університет (Одеса, Україна)

E-mail: mak2111@ukr.net. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-3785-9428>. **ResearcherID:** KIH-4164-2024

³кандидат технічних наук, доцент кафедри технології зернових продуктів, хліба і кондитерських виробів
Одеський національний технологічний університет (Одеса, Україна)

E-mail: natalka.onaft@gmail.com. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-7912-4791>. **ResearcherID:** B-3897-2016

⁴кандидат технічних наук, старший викладач кафедри технології зернових продуктів, хліба і кондитерських виробів
Одеський національний технологічний університет (Одеса, Україна)

E-mail: k.vasilisa@ukr.net **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-2270-1337>. **ResearcherID:** D-7510-2016

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЗМІШУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ДОБАВОК З ПШЕНИЧНИМ БОРОШНОМ

У статті досліджено доцільність змішування технологічних добавок з пшеничним борошном для коригування його хлібопекарських властивостей безпосередньо на борошномельних підприємствах. Обґрунтовано переваги такого підходу для стабілізації якості борошна. Встановлено оптимальні параметри процесу змішування технологічних добавок з пшеничним борошном у лабораторних та виробничих умовах. Розглянуто вплив ферментних препаратів різного принципу дії на хлібопекарські властивості. Результати підтверджують покращення однорідності суміші, збільшення об'єму і пористості хліба. Отримані дані можуть бути корисними для фахівців борошномельної галузі та виробників хлібопекарської продукції.

Ключові слова: пшеничне борошно; технологічна добавка; дозування і змішування; борошномельний завод; ферментні препарати; оптимізація якості.

Рис.: 5. Бібл.: 20.

Актуальність теми дослідження. З кожним роком спостерігається зміна якості зерна, що безпосередньо впливає на властивості пшеничного борошна. Кліматичні умови, сорти зерна та технологічні процеси обробки відіграють важливу роль у формуванні фізико-хімічних характеристик зернової сировини.

Для забезпечення стабільності якості борошна доцільно використовувати технологічні добавки. Вони дозволяють не лише компенсувати недоліки сировини, а й підвищити функціональність кінцевого продукту. Застосування таких добавок сприяє стандартизації властивостей борошна, що є важливим аспектом для хлібопекарської, кондитерської та інших галузей харчової промисловості, орієнтованих на якісний і стабільний випуск продукції [1].

Постановка проблеми. Використання технологічних добавок саме на борошномельних заводах приносить низку важливих переваг, які позитивно впливають як на сам виробничий процес, так і на якість кінцевої продукції.

По-перше, технологічні добавки дозволяють стабілізувати якість борошна, незалежно від змін у властивостях зернової сировини. Вони компенсують недоліки борошна, спричинені варіаціями у складі білків, клейковини чи вологості зерна. Це особливо важливо для харчових виробництв, які вимагають стандартизованої сировини для забезпечення високої якості кінцевого продукту [2].

По-друге, добавки підвищують функціональні технологічні властивості борошна. Вони можуть покращувати пружність тіста, його підйомні властивості або здатність до утримання вологості. Це розширює можливості використання борошна в різних типах хлібопекарських і кондитерських виробів [3].

По-третє, централізоване додавання технологічних добавок на етапі виробництва на борошномельному заводі є економічно вигідним рішенням. Воно дозволяє зменшити втрати та підвищити ефективність технологічного процесу, а також мінімізує ризик помилкового дозування при використанні добавок на інших стадіях. Автоматизація цих процесів сприяє підвищенню продуктивності та зменшенню трудовитрат [2].

Використання сучасних технологічних добавок сприяє підвищенню конкурентоспроможності продукції. Завдяки покращенню якості борошна виробники можуть відповідати суворішим вимогам харчової промисловості та задовольняти зростаючі потреби ринку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження технологічного процесу перероблення зерна на борошно дозволяє виокремити три основні напрями виробництва борошна зі спеціальними властивостями або цільовим призначенням. Перший напрям полягає в отриманні пшеничного борошна з бажаними характеристиками шляхом агротехнічного впливу, зокрема через селекцію та вирощування сортів пшениці з необхідними властивостями. Другий напрям пов'язаний із технологічними прийомами на борошномельному виробництві: формування помельних партій, застосування спеціалізованих схем помелу, комбінування індивідуальних потоків тощо. Третій напрям базується на коригуванні властивостей борошна шляхом біохімічних технологій, зокрема із застосуванням функціональних добавок [4].

Агротехнічні підходи. Численні дослідження довели, що технологічні властивості зерна залежать від його виду, типу, сорту, а також від умов вирощування і географічного розташування посівів [5]. Ці фактори значною мірою визначають якість зерна й можливий вихід борошна. Наукові роботи також показали, що мікроструктурні особливості зерна пшениці суттєво впливають на його борошномельні характеристики. Зокрема, борошно з м'язозерних сортів має вищий ступінь дисперсності порівняно з борошном із твердозерної пшениці. При цьому рівень пошкодження крохмальних гранул у борошні з твердозерних сортів у 1,5–4,4 рази вищий. Також було встановлено, що з м'яких сортів пшениці можна отримати в середньому втричі більше проміжного білка, ніж із твердозерної [6].

Ці значні відмінності в технологічних параметрах пшениці свідчать про доцільність окремого підходу до її використання залежно від цільового призначення борошна. Системна селекція та вирощування сортів із певними технологічними властивостями відкривають можливості для більш ефективного використання сільськогосподарських і виробничих ресурсів у виробництві борошна спеціального призначення [7].

Водночас в Україні наразі вирощування пшениці цільового призначення здійснюється в обмеженій кількості, що зумовлює брак відповідних технологічних рішень для її перероблення.

Борошномельні прийоми. Підготовка зерна до помелу на борошномельних підприємствах здійснюється відповідно до чинних нормативів, зокрема «Правил ведення технологічного процесу на борошномельних підприємствах», які містять рекомендовані режими водно-теплової обробки, очищення зерна від домішок, видалення оболонки та зародка залежно від типу зерна і його склоподібності. Як зазначено в низці досліджень [8], за допомогою правильного формування помельних партій, а також завдяки варіюванню режимів кондиціонування, можна цілеспрямовано змінювати технологічні властивості зерна перед подрібненням.

Показано, що характеристики подрібнення, форма і стан робочих поверхонь обладнання, навантаження та режими помелу мають суттєвий вплив на якість і вихід готового борошна [9]. Основним подрібнюючим обладнанням на борошномельних підприємствах

є вальцові верстати, які дозволяють гнучко змінювати технологічні параметри. Наприклад, зменшення зазору між вальцями на перших системах подрібнення (драного і розмелювального процесів) сприяє підвищенню виходу борошна без погіршення його якості, хоча зменшується середній розмір частинок. Водночас збільшення вилучення борошна на системах другої якості може спричинити зростання зольності і крупності частинок. Також встановлено, що при однакових зазорах і кількості рифлів, збільшення діаметра валків від 150 до 300 мм сприяє ефективнішому подрібненню [8].

Крім того, на рифлених вальцях інтенсивність пошкодження крохмальних гранул вища, ніж на мікрошорстких поверхнях. Підвищення кута нахилу рифлів посилює інтенсивність подрібнення за інших рівних умов. Зі збільшенням кількості рифлів на один сантиметр довжини валка спостерігається зростання виходу крупнодунстових фракцій та загального вилучення [10].

Сучасні технологічні схеми перероблення зерна на борошномельних підприємствах характеризуються багатоступінчастістю та безперервністю процесу, з чіткою поетапною побудовою та складною взаємодією між окремими системами, при цьому процеси відбуваються на високій швидкості [9].

Класичні хлібопекарські сортові помели з розгорнутою системою збагачення включають шість ключових етапів: початкове подрібнення зерна (драний процес), сортування утворених фракцій, очищення проміжних продуктів на ситовіальних та шліфувальних системах, тонке подрібнення (розмельний процес) та контроль готового борошна. Кожен етап, своєю чергою, поділяється на декілька підетапів залежно від якості проміжних продуктів [11].

Для формування спеціалізованих сортів борошна важливо, щоб у відділення готової продукції надходили окремі потоки з чітко вираженими властивостями. Такий підхід дозволяє задовольнити потреби різних харчових галузей та забезпечити ефективне й економічно обґрунтоване використання зернових ресурсів [8].

Біохімічні прийоми. Крім агротехнічних і борошномельних методів, для виготовлення борошна спеціального призначення або з конкретними технологічними характеристиками застосовуються також біохімічні прийоми. Ці методи ґрунтуються на використанні спеціальних технологічних добавок. На сьогодні відомо кілька основних груп таких добавок, що впливають на властивості пшеничного борошна: зокрема, це поліпшувачі окисної та відновлювальної дії, ферментні препарати, поверхнево-активні речовини, суха пшенична клейковина та інші [13].

Технологічні добавки, представлені на ринку, включають як макро-, так і мікронутрієнти. Вони виконують роль допоміжних речовин, особливо при переробці пшениці з низькими якісними показниками (табл. 1) [14].

Таблиця 1 – Основні напрями використання технологічних добавок на борошномельних підприємствах

Властивість борошна, що потребує коригування	Вид технологічної добавки
Вміст клейковини	Суха пшенична клейковина
Індекс деформації клейковини (якість клейковини)	Ферментні препарати ксиланазної, геміцелюлазної, ліпоксигеназної дії, суха пшенична клейковина
Амілолітична активність занижена	Ферментні препарати амілолітичної дії
Амілолітична активність завищена	Регулятори кислотності – солі органічних кислот
Харчова цінність занижена	Суха пшенична клейковина, БАДи, в тому числі з нетрадиційної сировини, вітамінно-мінеральна суміш

У багатьох країнах світу, зокрема й у європейських, технологічні добавки до борошна вводять безпосередньо на борошномельних підприємствах. Такий підхід дозволяє досягти значного економічного ефекту, зокрема завдяки можливості виготовлення високоякісного борошна з менш цінної зернової сировини.

Зазвичай більшість поліпшувачів і добавок не мають харчової цінності: одні є повністю безпечними, інші можуть становити ризик для здоров'я. Тому їх використання суворо контролюється відповідними медико-біологічними вимогами та санітарними нормами до продовольчої сировини і харчових продуктів.

Борошномельна промисловість висуває низку вимог до технологічних добавок.

По-перше, вони не повинні погіршувати органолептичні чи технологічні властивості борошна. З цією метою добавки мають бути у вигляді сухих, дрібнодисперсних порошків, що не змінюють вологість, зольність чи інші ключові характеристики борошна і не мають сторонніх запахів або присмаків [14].

По-друге, під час виробництва борошна необхідно забезпечити точне дозування та рівномірне змішування добавок у короткі строки. Через це часто застосовують премікси — попередні суміші. Також має бути доступна інформація про можливі алергічні чи шкідливі впливи на персонал [15].

Третьою важливою особливістю є те, що технологічні добавки виявляють свою дію лише у вологому середовищі, тому вони не змінюють властивості сухого борошна. Через це для оцінки їхньої ефективності бажано проводити лабораторну випічку, оскільки стандартні показники якості можуть не виявити реальних змін у хлібопекарських властивостях [16].

Також добавки повинні мати низьку вологість, бути слабо гігроскопічними та мати тривалий термін зберігання, оскільки борошно також зберігається тривалий час.

До того ж важливо досліджувати оптимальні способи введення добавок на різних етапах виробництва, зокрема під час розмелу або вже у процесі безтарного зберігання, адже щойно змелене борошно проходить стадію дозрівання і з часом може змінювати свої властивості [14].

Найголовніша вимога до будь-якого поліпшувача — його безпечність і відсутність негативного впливу на здоров'я людини.

Пшеничне борошно містить ферменти, такі як α - і β -амілази, протеази, ліпази, фосфатази та оксидази. Якщо зерно непророщене, рівень цих ферментів залишається низьким, і вони не активуються під час зберігання за умови підтримки низької вологості та температури. Характеристики ферментів у пшениці залежать від їхнього походження, яке можна поділити на три основні групи [16]:

Індогенні ферменти — природні компоненти зерна, що присутні під час збору врожаю (наприклад, амілази).

Ендогенні ферменти — синтезовані мікроорганізмами, які можуть бути природними забруднювачами або спеціально доданими культурами.

Екзогенні ферменти — ферменти, які додають у процесі виробництва [17].

Саме амілази відіграють ключову роль у процесі випікання хліба, однак пророщування пшениці до збору врожаю може негативно вплинути на якість хліба, тому для збереження бажаних властивостей рекомендується збирати зерно при низькій її активності. Використання амілази є доцільним, а в деяких випадках і необхідним рішенням для забезпечення газоутворюючих та газотримуючих процесів у тісті. Таким чином, оптимальне дозування амілази є важливим для отримання якісного кінцевого продукту.

Більшість доданих амілаз у хлібопекарській промисловості мають бактеріальне або грибкове походження, тому мають різні фізичні характеристики, зокрема термічну стабільність: бактеріальна α -амілаза демонструє вищу термостійкість порівняно з амілазами, що містяться в зернових, тоді як грибкова амілаза має нижчу термостійкість.

Протеази, що містяться в пшеничному борошні, переважно мають ендогенне походження і незначною мірою впливають на білки борошна під час випікання [18]. У хлібопекарському виробництві додавання протеази зазвичай не є необхідним для підвищення еластичності тіста із зерна пшениці нормальної якості. Однак ці ферменти можуть бути корисними у виробництві борошна для печива або вафель, де потрібна слабша структура тіста.

З огляду на всі вимоги, найефективнішими для покращення хлібопекарських характеристик на борошномельних підприємствах визнано ферментні препарати грибного походження. Вони інактивуються під час термічної обробки (випікання хліба) і не мають шкідливого впливу на організм людини.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Дослідженню технологічних добавок присвячено роботи багатьох українських та європейських учених. Науковці встановили доцільність використання технологічних добавок для коригування та надання спеціальних властивостей пшеничному борошну. Проте процес дозування та змішування технологічних добавок із борошном безпосередньо на борошномельних заводах є недостатньо вивченим.

Мета статті. Мета дослідження – дослідити режими процесу змішування технологічних добавок із борошном.

Виклад основного матеріалу. Для реалізації дослідження проаналізовано технологічну схему борошномельного заводу продуктивності 150 т/д, проведено аналіз якості борошна, згідно з ГСТУ 46.004-99 [19], що виробляється на даному заводі. Оцінювання хлібопекарських властивостей проводили за пробною лабораторною випічкою хліба зразків борошна контрольного зразка та з технологічною добавкою. Для оцінки ефективності змішування технологічних добавок із борошном на першому етапі було знайдено оптимальне дозування технологічної добавки шляхом оцінки процесу змішування вітаміну В₂ з борошном в лабораторних умовах, а на другому етапі – з технологічними добавками за пробною лабораторною випічкою у виробничих умовах.

Визначення вітаміну В₂ проводять за методикою, описаною в літературному джерелі [20]. В основу цієї методики покладена зміна інтенсивності забарвлення вітаміну В₂ (рибофлавіну) залежно від його концентрації в розчині. Для цього вітамін В₂ масою 100 мг вносять у мірну колбу місткістю 100 см³ і розчиняють спочатку в невеликому об'ємі води, а потім доводять до мітки. 1 см³ такого розчину містить $10 \cdot 10^{-5}$ вітаміну В₂. З цього розчину готують шкалу стандартних розчинів. У 10 мірних колб місткістю 100 см³ вносять, відповідно, від одного до десяти см³ стандартного розчину і доводять дистильованою водою до мітки. Колориметрування проводили при довжині хвилі 440 нм, із використанням синього світлофільтра №4, в кюветі 5 см. За результатами будують калібрувальний графік, за яким вираховують зміст введенного вітаміну В₂.

Для оцінювання ефективності змішування технологічної добавки з пшеничним борошном проводили пробне лабораторне випікання формового хліба згідно з методикою галузевого стандарту [19] у перерахунку на 100 г борошна. Виходячи з вологості борошна, визначали кількість необхідної води для замісу тіста. Згідно з рецептурою додавали дріжджі (3 г), цукор (4 г) та соль (1,3 г). Замішували і формували тісто вручну. Бродіння тіста відбувалось у термостаті при температурі (31 ± 1) °С протягом 180 хв. Хліб випікали в лабораторній печі при температурі 220-230 °С зі зволоженням пекарної камери. Тривалість випікання хліба становила 20-25 хв.

Сортові помели пшениці за скороченою схемою технологічного процесу використовують на борошномельних заводах відносно невеликої продуктивності (100-130 т/доб.), які розташовані в малонаселених центрах. Такі млини, як правило, виробляють два-три сорти пшеничного борошна із загальним виходом 72–75 %, що повністю забезпечує потреби місцевих споживачів [9].

За принципово схожою схемою працює борошномельний завод, на якому проводилося дослідження. У цьому варіанті схеми відсутній етап збагачення проміжних продуктів.

Технологічна схема включає:

– чотири драні системи (В1 – В4), з яких III і IV драні системи діляться на крупну і дрібну;

- три сортувальні системи (Div.1 – Div.3);
- п'ять вимельних систем (BF1 – BF5);
- дві шліфувальні системи (Siz. 1 – Siz. 2);
- п'ять розмелювальних систем (R1 – R5), з яких 1-ша і 2-га розмелювальні системи поділяються на крупну і дрібну;
- одна сходова система (C1).

Згідно зі схемою технологічного процесу передбачено можливість відбору двох сортів борошна з подальшим їх контролем. Завод може працювати за двома схемами: 72-ти % односортний помел (вищий сорт) та 75-ти % двосортний помел (55 % – вищого сорту та 20 % – першого сорту).

Аналіз схеми технологічного процесу дозволяє зробити висновок, що на заводі є можливість встановлення дозуючого пристрою для змішування борошна з технологічною добавкою.

Змішування є механічним процесом, під час якого обробляються вихідні матеріали без зміни їхніх хімічних властивостей чи агрегатного стану. У ході цього процесу частинки змінюють своє просторове розташування відносно одна одної, внаслідок чого утворюється однорідна суміш [10].

Результати досліджень. Характер і ефективність змішування залежать від типу змішувального обладнання та його конструктивних елементів, технологічного режиму роботи, а також від властивостей компонентів суміші. Часто вихідні матеріали мають різні фізико-механічні характеристики й співвідношення у складі. Тверді частинки можуть відрізнятися за розмірами, твердістю, щільністю, поверхневими властивостями та вологістю. Повноцінна дія комплексної добавки можлива при її рівномірному розподіленні в борошні, що забезпечується за рахунок ефективного змішування.

Змішувач, на якому проводили експериментальні дослідження, є горизонтальним, лопатевим, періодичної дії. Місткість ванни змішувача 5 кг, коефіцієнт заповнення робочої ванни для всіх експериментів дорівнює 70 %, що є оптимальним. Частоту робочих органів змінювали в діапазоні: $1,0 \text{ с}^{-1}$ (60 об/хв); $1,33 \text{ с}^{-1}$ (80 об/хв); $1,67 \text{ с}^{-1}$ (100 об/хв).

Як ключовий компонент, за концентрацією якого судили про ефективність змішування, був узятий вітамін B₂, фізичні властивості якого близькі до властивостей ферментних препаратів. Оцінювання ефективності процесу змішування проводили шляхом визначення якісного показника, за яким був обраний коефіцієнт варіації або неоднорідності.

Проведення досліджень з вивчення характеру протікання процесу змішування передбачало зміну такого фактору, як тривалість змішування. Частота обертів робочого органа змішувача залишалася незмінною – на максимальному для цього пристрою рівні $1,67 \text{ с}^{-1}$, коефіцієнт завантаження ванни змішувача становив 70 %. При отриманні суміші необхідно домогтися рівномірного розподілу вихідних компонентів по його об'єму.

Щоб оцінити якість змішування однієї випадковою величиною, суміш умовно вважають двокомпонентною. Для чого із суміші виділяють один компонент, званий умовно основним (ключовим), ключовий компонент у цьому дослідженні – вітамінний препарат, інший – борошно.

Якість змішування визначається за коефіцієнтом варіації ключового компонента суміші, тобто вітаміну B₂. Для цього в борошно вносять вітамін B₂, попередньо зважений, та змішують у змішувачі періодичної дії при певних режимах. Після чого з суміші відбирається по 10 проб, кожна з яких по 2 г.

Вміст вітаміну B₂ у модельній суміші визначали за методикою [20]. Оцінювання ефективності процесу змішування здійснювали за допомогою коефіцієнта варіації основного компонента, який використовували як головний показник якості змішування.

За результатами проведених експериментальних досліджень побудовано криві змішування – залежність коефіцієнта варіації від тривалості змішування (рис. 1, 2). Оптимальна тривалість змішування – це момент встановлення саме цієї динамічної рівноваги, яка відповідає першому мінімальному значенню коефіцієнта варіації кривої змішування.

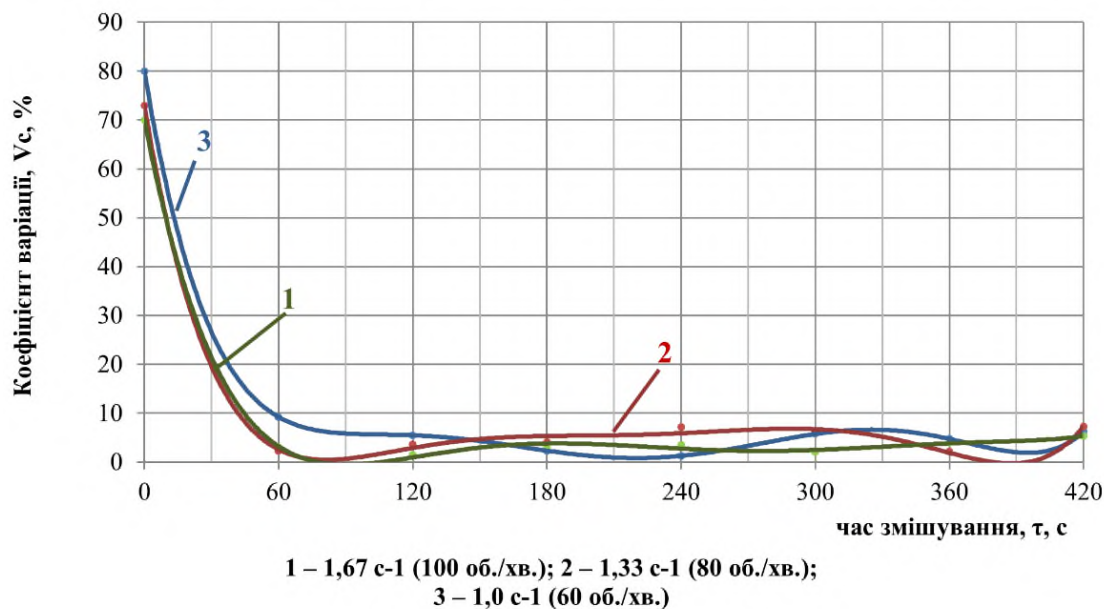


Рис. 1. Крива змішування пшеничного борошна при концентрації ключового компонента 0,010 %

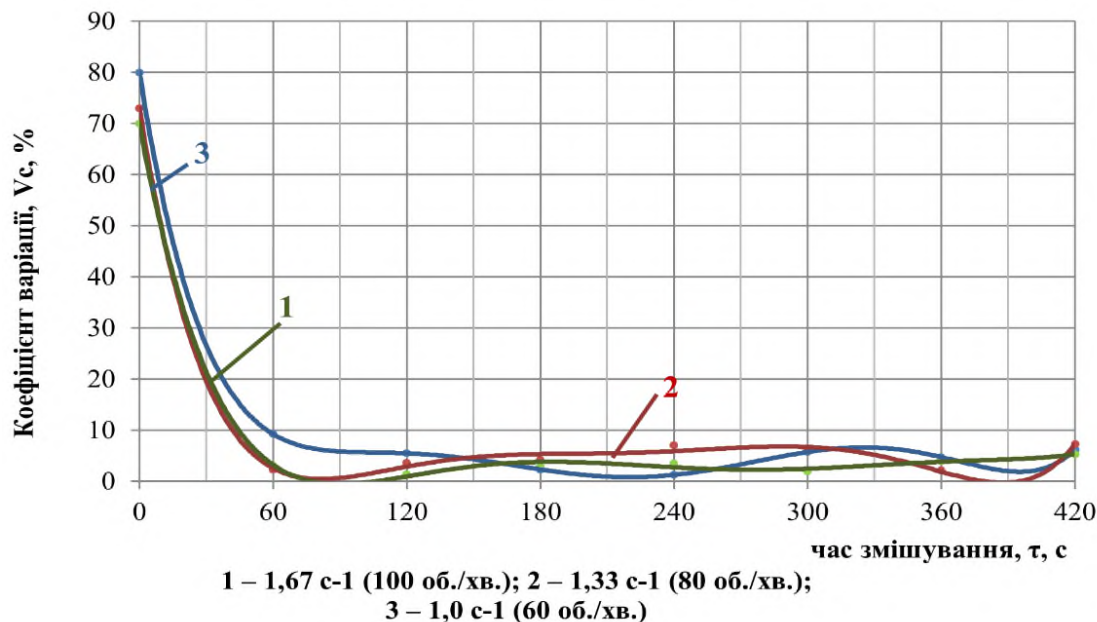


Рис. 2. Крива змішування пшеничного борошна при концентрації ключового компонента 0,013 %

Аналіз отриманих кривих свідчить, що зі збільшенням тривалості змішування однорідність суміші поступово зростає незалежно від концентрації ключового компонента. На кривих чітко виділяються три етапи змішування: I (0-60 с) – зона інтенсивного змішування; II (60-120 с) – зона уповільненого змішування та III (120-180с) – зона сегрегації.

За результатами досліджень встановлено, що мінімального значення коефіцієнта варіації швидше досягає зразок борошна із більшою концентрацією ключового компонента 0,013 % – через 90 с, тобто підвищення концентрації ключового компонента покращує ефективність процесу змішування. Підвищення частоти обертання робочого органу змішувача з 1,0 до 1,67 с^{-1} , тобто з 60 до 100 об./хв, також сприяє покращенню процесу змішування і зменшенню коефіцієнта варіації.

На підставі проведених експериментальних досліджень встановлено оптимальні режими змішування борошна хлібопекарського з технологічною добавкою концентрацією 0,010-0,013 % у горизонтальному лопатевому змішувачі періодичної дії: частота обертання робочого органу змішувача 1,33-1,67 с^{-1} ; тривалість змішування – 90-180 с (1,5-3 хв).

За структурою ферментні препарати – це сипучі мікрогрануляти білого, світло-коричневого кольору із середнім розміром частинок 150 мікронів. Носієм ферменту є борошно, що дозволяє легко змішувати їх з борошном за допомогою закритих конвективних або барабанних змішувачів, які не дають розмелюючий ефект.

У результаті проведених досліджень виникла необхідність перевірки отриманих даних на борошномельному заводі. На заводі був встановлений дозатор над конвеєром збору борошна за рекомендаціями фірми «Mühlentechnik» (рис. 3).

EMCEtec GLD 87 – прецизійний дозуючий пристрій для сипких інгредієнтів. Дозуючий пристрій EMCEtec GLD 87 призначений для додавання мікроінгредієнтів і може бути інтегрований у будь-якому борошномельному виробництві, окремо або в групах. Він дозволяє дозувати інгредієнти, наприклад поліпшувачі борошна, такі як аскорбінова кислота, ферменти і відбілювальні речовини. За необхідністю додавання двох або більше інгредієнтів, необхідно встановлювати два дозуючі пристрої або виготовляти премікс всіх інгредієнтів.

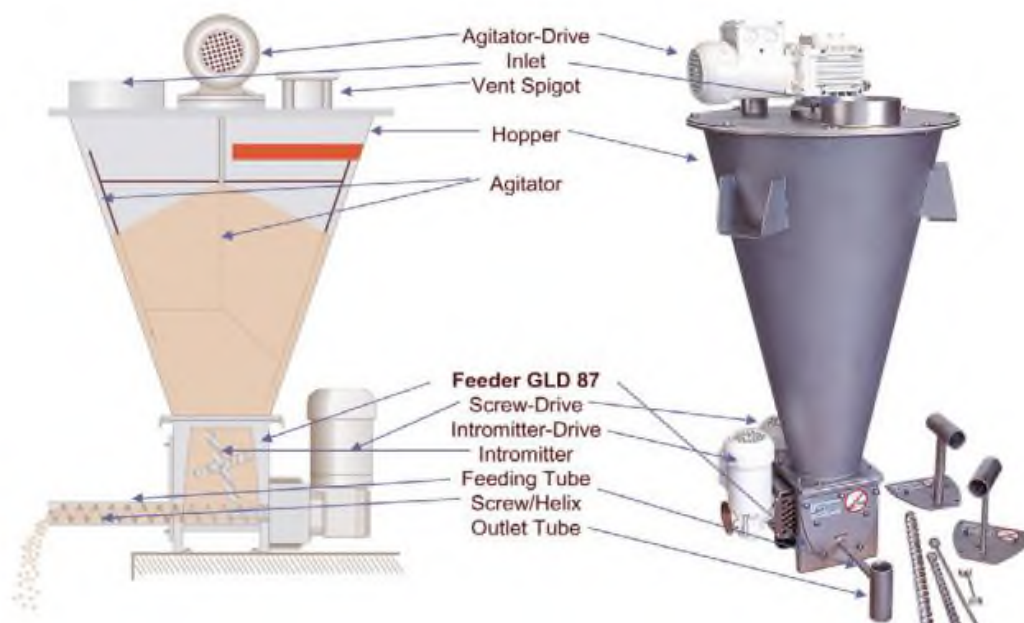


Рис. 3. Схема дозуючого пристрою EMCEtec GLD 87:

Agitator-Drive – мішалка привід; Inlet – вхідний отвір; Vent Spigot – вентиляційний кран; Hopper – бункер; Agitator – змішувач; Feeder GLD 87 – живильник GLD 87; Screw-Drive – гвинтовий привід; Intromitter-Drive – привід підживлювального елемента (інтромайтера); Intromitter – підживлювальний елемент (інтромайтер); 10 – підживлювальна трубка; 11 – шнек/спіраль; 12 – вихідна трубка

На наступному етапі дослідження було проведено оцінювання ефективності змішування борошна з технологічною добавкою у співвідношенні 1:20. У виробничих умовах не було можливості змінювати технічні характеристики змішувача, тобто конвеєра збору

борошна. При зміні швидкості обертання робочого органу конвеєра зростало б навантаження на двигун, що призвело б до виходу з ладу основного обладнання.

Для перевірки ефективності змішування, із крайньої точки конвеєра збору борошна відібрали 10 зразків з інтервалом у 2 хвилини, після чого виконали пробну лабораторну випічку. Встановлено, що об'єм хліба варіювався в межах від 520 до 560 см³, що в 1,5-1,6 раза більше порівняно з контрольним зразком без добавки (об'єм – 355 см³). Пористість також зростає в 1,1 раза і становила 79–82 % (рис. 4). Коефіцієнт варіації дорівнював – 4,2 %, тобто змішування відбулося з оцінкою «добре».

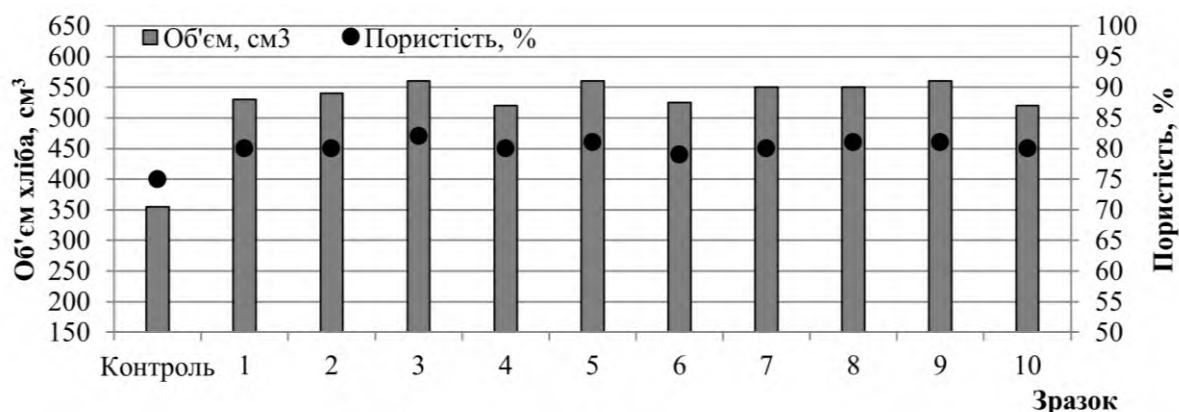


Рис. 4. Оцінка ефективності змішування борошна з технологічною добавкою за пробною лабораторною випічкою

При змішуванні борошна з ферментами необхідно уникати високої температури й вологості, тому що ці фактори сприяють інактивації ферментного препарату.

Для ефективного змішування борошна з технологічною добавкою необхідно виконувати такі рекомендації:

- для багатокомпонентної технологічної добавки слід використовувати декілька дозаторів або замовляти готову технологічну добавку у фірми-виробника;
- дозатор слід встановлювати над конвеєром збору борошна на відстані не менше 3-4-х метрів до кінця конвеєра (рис. 5);
- при додаванні технологічних добавок у мінімальному дозуванні слід готувати попередню суміш у співвідношенні 1:20.

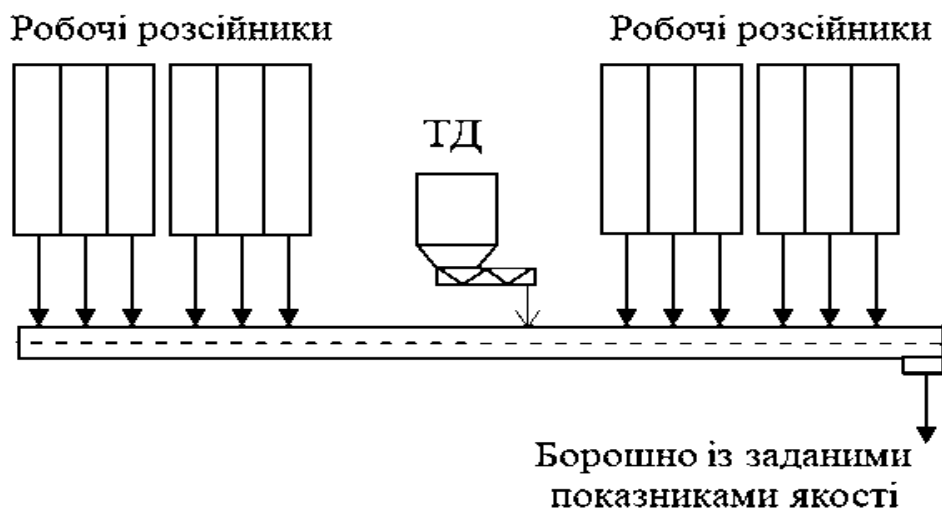


Рис. 5. Технологічна схема змішування технологічної добавки на борошномельному заводі

Висновки. На заводах середньої та малої продуктивності є технічна можливість встановлення дозуючих пристроїв для автоматичного введення технологічних добавок на етапі формування сортів борошна. Це дозволяє оперативно коригувати якісні характеристики готового продукту відповідно до заданих параметрів, не змінюючи основного процесу виробництва.

Найкращі показники рівномірності змішування досягаються при використанні горизонтального лопаткового змішувача з частотою обертання $1,33\text{--}1,67\text{ с}^{-1}$ та тривалістю процесу 90–180 секунд. Ключовим критерієм ефективності виступав коефіцієнт варіації розподілу вітаміну В₂, який зменшувався до прийняттого рівня при дотриманні зазначених параметрів.

Встановлення дозуючого пристрою безпосередньо над конвеєром збору борошна забезпечує рівномірне внесення технологічної добавки, що підтверджено низьким коефіцієнтом варіації (3,2 %) та покращеними показниками якості випеченого хліба – зростанням об'єму в 1,5–1,6 раза та пористості в 1,1 раза в порівнянні з контрольним зразком.

Для досягнення високої якості змішування необхідно уникати впливу високої температури та вологості, а також при додаванні мінімальних дозувань компонентів – використовувати попередню суміш ферментних препаратів у співвідношенні 1:20 або більше. У разі використання двох і більше компонентів доцільно застосовувати кілька дозаторів або замовляти готові суміші від надійних виробників.

Список використаних джерел

1. Жигунов, Д. О., Волошенко, О. С., & Браславцева, І. В. (2021). *Технологія та оцінка якості зернових продуктів: Монографія до 90-річ. каф. Технології переробки зерна* (Д. О. Жигунова & О. С. Волошенко, Ред.). ОЛДІ-ПЛЮС.
2. Соколова, Н. Ю., Котузаки, О. М., & Пожиткова, Л. Г. (2018). Аналіз проблем хлібопекарської галузі, стан ринку та актуальні шляхи розширення асортименту. *Grain Products and Mixed Fodder*, 18(3), 20–24. <https://doi.org/10.15673/gpmf.v18i3.1074>.
3. Toporash, I., Chervonis, M., & Voloshenko, O. (2022). The problem of assessing the baking quality of wheat with genetically different alleles of storage proteins. *Grain Products and Mixed Fodder*, 22(4), 7–11. <https://doi.org/10.15673/gpmf.v22i4.2531>.
4. Крутовий, Ж. А., Захаренко, Г. В., & Захаренко, В. О. (2014). Три принципи створення борошняних виробів. *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв, ресторанного господарства і торгівлі : зб. наук. праць ХДУХТ*, 2, 222–230.
5. Rybalka, A. I., Morgun, B. V., & Polyshchuk, S. S. (2018). Gpc-b1 (nam-b1) gene as a new genetic resource in wheat breeding for high grain protein content and micronutrients. *Fiziologia rastenij i genetika*, 50(4), 279–298. <https://doi.org/10.15407/frg2018.04.279>.
6. Hospodarenko, G. M., Liubych, V. V., Polianetska, I. A., & Zheliezna, V. V. (2020). Yield and quality of soft wheat cereal products depending on variety. *Bulletin of Uman National University of Horticulture*, 1, 90–97. <https://doi.org/10.31395/2310-0478-2020-1-90-97>.
7. Najera S.P.G. (2014). A compositional breakage equation for first break roller milling of wheat: Thesis. Satake Centre for Grain Process Engineering, 245. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.03.001>.
8. Браславцева І. В. (2013). *Удосконалення процесу формування готової продукції в технології сортового помелу пшениці* [Автореф. дис. ... канд. техн. наук] Одеська нац. акад. харч. техн.
9. Мерко, І. Т., & Моргун, В. О. (2001). *Наукові основи і технологія переробки зерна*. Друк.
10. Мерко, І. Т. (2010). *Технологія мукомельного і круп'яного виробництва*. Друкарський дім.
11. Жигунов, Д. О., Ковальова, В. П., & Ковальов, М. О. (2019). Визначення показників якості індивідуальних потоків борошна з заводу зі скороченою схемою технологічного процесу. *Технічні науки та технології*, 1, 195–204. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2019-1\(15\)-195-203](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2019-1(15)-195-203).
12. Dubreil, L. (2002). Recherche de rôle biologique des puroindolines et mise en évidence de leurs potentialités technologiques dans la transformation des céréales. *Sciences des Aliments*, 4(98), 228–231.
13. Melim Miguel, A. S., Souza, T., Costa Figueiredo, E. V. d., Paulo Lobo, B. W., & Maria, G. (2013). Enzymes in bakery: Current and future trends. *У Food industry*. InTech. <https://doi.org/10.5772/53168>.

14. Lutz Popper (2010). *Mühlenchemie Ahrensburg. Enzymes: les meilleurs amis des farines. Sciencedes Aliments*, 2, 34-46.
15. Єгоров, Б. В. (2011). *Технологія виробництва комбікормів*. Друк. дім. <https://card-file.ontu.edu.ua/handle/123456789/3292>.
16. Ковальова, В. П. (2019). *Розробка технологія виробництва борошна із заданими показниками якості* [Автореф. дис. ... канд. техн. наук] Одеська нац. акад. харч. техн. <https://card-file.ontu.edu.ua/handle/123456789/11001>.
17. Zhygunov, D., Mardar, M., & Kovalyova, V. (2018). Use of enzyme preparations for improvement of the flour baking properties. *Food Science and Applied Biotechnology*, 1(1), 26. <https://doi.org/10.30721/fsab2018.v1.i1.21>.
18. Gänzle, M. G., Loponen, J., & Gobetti, M. (2008). Proteolysis in sourdough fermentations: Mechanisms and potential for improved bread quality. *Trends in Food Science & Technology*, 19(10), 513–521. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2008.04.002>
19. Держстандарт України. (1999). Борошно пшеничне. Технічні умови. (ГСТУ 46.004-99). https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=71279.
20. Єгоров, Б. В., Шаповаленко, О. І., & Макаринська А. В. (2007). *Технологія виробництва преміксів*. Центр учбової літератури.

References

1. Zhygunov, D.O., Voloshenko, O.S., & Braslavtseva, I.V. (2021). *Tekhnolohiia ta otsinka yakosti zernovykh produktiv. Monohrafiia do 90-richchia kafedry Tekhnolohii pererobky zerna [Technology and quality assessment of grain products. Monograph for the 90th anniversary of the Department of Grain Processing Technology]*. Oldi plius. <https://card-file.ontu.edu.ua/items/9aa69161-2031-4859-80e2-ec7d5ea3abdf>.
2. Sokolova, N. Yu., Kotuzaki, O. M. & Pozhytkova, L. H. (2018) Analiz problem khlibopekarskoi haluzi, stan rynku ta aktualni shliakhy rozshyrennia asortymentu. [Analysis of the problems of the baking industry, the state of the market and current ways to expand the range]. *Zernovi produkty i kombi-kormy – Grain products and compound feeds*, 2(18), 20-24.
3. Toporash, I., Chervonis, M. & Voloshenko, O. (2022). The problem of assessing the baking quality of wheat with genetically different alleles of storage proteins. *Grain Products and Mixed Fodder's*, 22(4, 88), 7-11. <https://doi.org/10.15673/gpmf.v22i4.2531>.
4. Krutovyi, Zh. A., Zakharenko, H. V., Zakharenko, V. O. (2014). Try pryntsyipy stvorennia boroshnianykh vyrobiv [Three principles of creating flour products]. *Prohresyyni tekhnika ta tekhnolohii kharchovykh vyrobnytstv, restorannoho hospodarstva i torhivli: zb. nauk. prats KhDUKhT - Progressive equipment and technologies of food production, restaurant management and trade: collection of scientific works of the KhDUHT*, 2, 222-230.
5. Rybalka, O. I., Morhun, B. V. & Polishchuk S. S. (2018). GPC-B1 (NAM-B1) Hen yak novyi henetychnyi resurs u selektsii pshenytsi na pidvyshchennia vmistu bilka v zerni ta mikroelementiv [Gene as a new genetic resource in wheat breeding to increase the protein content in grain and trace elements.]. *Fiziolohiia roslyn i henetyka – Plant physiology and genetics*, 4(50), 279-293. http://nbuv.gov.ua/UJRN/vaan_2018_11_18.
6. Hospodarenko, H. M. (2020) Vykhyd i yakist krupianykh produktiv iz zerna pshenytsi miakoi zalezno vid sortu [Yield and quality of cereal products from soft wheat grain depending on the variety]. *Visnyk Umanskoho NUS – Bulletin of the Uman NUH*, 1, 90-98 http://nbuv.gov.ua/UJRN/vumnuc_2020_1_20.
7. Najera S.P.G. (2014). A compositional breakage equation for first break roller milling of wheat: Thesis. *Satake Centre for Grain Process Engineering*, 245. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2016.03.001.
8. Broslavtseva I. V. (2013). Udoshkonalennia protsesu formuvannia hotovoi produktsii v tekhnolohii sortovoho pomelu pshenytsi [Improving the process of forming finished products in the technology of varietal wheat milling]. [PhD dissertation; Odesa National Academy of Food Technologies].
9. Merko, I. T., & Morhun, V. O. (2001). *Naukovi osnovy i tekhnolohiia pererobky zerna [Scientific foundations and technology of grain processing]*. Друк.
10. Merko, I. T. (2010). *Tekhnolohiia mukomelnoho i krupianoho vyrobnytstva [Technology of flour milling and cereal production]*. Drukarskyi dim.

11. Zhyhunov, D. O., Kovalova, V. P., & Kovalov M. O. (2019). Vyznachennia pokaznykiv yakosti individualnykh potokiv boroshna z zavodu zi skorchenoio skhemoio tekhnolohichnoho protsesu [Determination of quality indicators of individual flour flows from the plant with a shortened technological process diagram]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii - Technical Sciences and Technologies*, 1, 195-204. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2019-1\(15\)-195-203](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2019-1(15)-195-203).
12. Dubreil L. (2002) Recherche de rôle biologique des purindolines et mise en évidence de leurs potentialités technologiques dans la transformation des céréales. *Sciences des Aliments*, 4(98), 228-231.
13. Melim Miguel, A. (2013). Enzymes in Bakery: Current and Future Trends. *Food Industry*, 1, 287-321. DOI:10.5772/53168.
14. Lutz Popper (2010). Mühlenchemie Ahrensburg. Enzymes: les meilleurs amis des farines. *Sciences des Aliments*, 2, 34-46.
15. Yehorov, B. V. (2011). Tekhnolohiia vyrobnytstva kombikormiv [Technology of compound feed production]. Publishing House. <https://card-file.ontu.edu.ua/handle/123456789/3292>.
16. Kovalova, V. P. (2019). Rozrobka tekhnolohiia vyrobnytstva boroshna iz zadanykh pokaznykamy yakosti [Development of flour production technology with specified quality indicators]. [Doctors' thesis, Odesa National Academy of Food Technologies]. <https://card-file.ontu.edu.ua/handle/123456789/11001>.
17. Zhygunov, D., Mardar, M., & Kovalova, V. (2018). Use of enzyme preparations for improvement of the flour baking properties. *Food Science and Applied Biotechnology*, 1, 26-32. DOI:10.30721/fsab2018.v1.i1.21.
18. Ganzle, MG., Lopenen, J., & Gobetti M. (2008). Proteolysis in sourdough fermentations: mechanisms and potential for improved bread quality. *Trends in Food Science and Technology*, 19(10), 513-521. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2008.04.002>.
19. Derzhstandart Ukrainy. (1999). *Boroshno pshenychne. Tekhnichni umovy* [State Statistics of Ukrainian. Wheat flour. Technical conditions]. (1999). HSTU 46.004-99 from June 20, 1999. Derzhstandart Ukraine. https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=71279.
20. Yehorov, B. V., Shapovalenko, O. I., & Makarynska A. V. (2007). Tekhnolohiia vyrobnytstva premiksiv [Premix production technology]. Center of study literature.

Отримано 18.04.2025

UDK 664.681:620.182.5

Dmytro Zhygunov¹, Mykhailo Kovalov², Natalia Khorengy³, Vasylyna Kovalova⁴¹Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Technology of Cereal, Bread and Confectionary Products
Odesa National University of Technology (Odesa, Ukraine)**E-mail:** dimius75@gmail.com. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-9435-2266>. **ResearcherID:** [D-1372-2015](https://orcid.org/0000-0001-9435-2266)²PhD in Technical Sciences, Senior Lecturer of Department of Technology of Cereal, Bread and Confectionary Products
Odesa National University of Technology (Odesa, Ukraine)**E-mail:** mak2111@ukr.net. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-3785-9428>. **ResearcherID:** [KIH-4164-2024](https://orcid.org/0000-0003-3785-9428)³PhD in Technical Sciences, Associate Professor of Department of Technology of Cereal, Bread and Confectionary Products
Odesa National University of Technology (Odesa, Ukraine)**E-mail:** natalka.onaft@gmail.com. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-7912-4791>. **ResearcherID:** [B-3897-2016](https://orcid.org/0000-0001-7912-4791)⁴PhD in Technical Sciences, Senior Lecturer of Department of Technology of Cereal, Bread and Confectionary Products
Odesa National University of Technology (Odesa, Ukraine)**E-mail:** k.vasilisa@ukr.net **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-2270-1337>. **ResearcherID:** [D-7510-2016](https://orcid.org/0000-0003-2270-1337)

RESEARCH ON THE PARAMETERS OF MIXING TECHNOLOGICAL ADDITIVES WITH WHEAT FLOUR

The article is devoted to studying feasibility and effectiveness of introducing technological additives directly into the production process at flour milling enterprises. The advantages of using additives to stabilize the quality of wheat flour—regardless of properties of the raw material influenced by climatic conditions or grain variety—are substantiated. Particular attention is paid to the effect of amylolytic enzyme preparations on the baking properties of flour, including improvements in dough elasticity, water absorption, and the volume of finished products. Relevance of the topic is determined by the need to adjust baking properties of wheat flour, as confirmed by numerous studies by Ukrainian and European scientists. The aim of the study is to determine optimal conditions for dosing and mixing technological additives in the production process, using wheat flour as an example.

To achieve this goal, the technological scheme of the flour mill with a capacity of 150 tons per day was analyzed, qualitative characteristics of flour were studied, and optimal mixing conditions of flour with vitamin B₂ as a model additive were experimentally determined. Key mixing parameters were established under laboratory and industrial conditions, including mixing speed, duration, and equipment loading factor.

It was found that effective mixing is achieved at the rotation speed of 1.33–1.67 s⁻¹ and the duration of 90–180 s in the laboratory mixer. The study confirmed that increasing concentration of the additive positively affects the homogeneity of the mixture. In industrial conditions, using the EMCETec GLD 87 dispenser, uniform mixing with the variation coefficient of 4.2 %—classified as “good”—was achieved. Test baking results showed that the loaf volume of samples with additives increased by 1.5–1.6 times and porosity by 1.1 times compared to the control flour sample. The findings confirm effectiveness and feasibility of introducing technological additives into flour directly during production.

Results may be useful for specialists in the flour milling industry, developers of food enrichment technologies, and food product manufacturers.

Keywords: *wheat flour; technological additive; dosing and mixing; flour milling plant; enzyme preparations; quality optimization.*

Fig.: 5. References: 20.