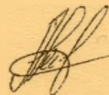


Автореферат
Н-57

8

ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

НЕТРЕБСЬКИЙ ОЛЕКСАНДР АНДРІЙОВИЧ



УДК 664.73.012.44

**НАУКОВІ ОСНОВИ І ПРАКТИКА ІНТЕНСИФІКАЦІЇ
ЗДРІБНЕННЯ ЗЕРНА**

Спеціальність 05.18.02 - технологія зернових, бобових,
круп'яних продуктів та комбікормів

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

ОДЕСА - 2006

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Одеській національній академії харчових технологій Міністерства освіти і науки України.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор, академік Національної академії наук Республіки Казахстан

Ізтаєв Ауелбек Ізтайович,

Алматинський технологічний університет, кафедра технології хлібопродуктів, завідуючий кафедрою, директор Казахського комітету науки і технології зерна

доктор технічних наук, професор, лауреат Державної премії України

Сорока Петро Гнатович,

Український державний хіміко-технологічний університет, кафедра процесів та апаратів хімічної технології, завідуючий кафедрою

доктор технічних наук, професор

Гросул Леонід Гнатович,

Одеська національна академія харчових технологій, кафедра технологічного обладнання зернових підприємств, професор кафедри

Провідна установа:

Національний університет харчових технологій, кафедра зберігання і переробки зерна, м. Київ, Міністерство освіти і науки України

v.017631



12

2006 року о 10³⁰ годині на засіданні спеціальної національної академії харчових технологій, 112.

Одеської національної академії харчових технологій, 112.



К. Г. Іоргачова

ОНАХТ

20.06.12

Наукові основи і рпа



v017631

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Ефективність використання харчової сировини значною мірою підвищується при переведенні її в тонкодисперсний стан. Найпоширенішим і економічно вигідним сучасним технологічним прийомом дезінтеграції харчової сировини традиційно залишається механічне здрібнення.

В ієрархічній структурі технологічних процесів здрібнення посідає перше місце не тільки як найбільш ефективний метод зміни властивостей харчової сировини, але і як процес, на частку якого приходиться близько 50 % інвестицій при організації виробництва і від 60 % до 70 % витрат виробництва. Тому рівень розвитку техніки й технології здрібнення безпосередньо визначає кількісно-якісні і техніко-економічні показники виробництв.

Процеси і технологія здрібнення отримали широке розповсюдження в харчових виробництвах, а в найбільш масштабних і розвинених, таких як спиртове і борошномельне, склали їх основу.

Пріоритет розвитку технології виробництва борошна і в перспективі не викликає сумніву, так само, як і статус хліба, як основного продукту харчування людей світу.

В Україні щорічно переробляється в борошно близько 7 млн. тонн зерна. На це витрачається в середньому приблизно 600 млн. кВт·год/рік електроенергії. За витратами електроенергії на одиницю ВВП Україна займає п'яте місце в світі, перевищуючи показники США і Польщі в 3 рази, Німеччини - в 5 разів.

Узагальнення наукових основ здрібнення зерна пшениці і жита показало, що вони традиційно розвивалися для способу здрібнення у вальцовому верстаті, який більше, ніж 190 років є монополістом.

Аналіз механізму руйнування зерна пшениці у вальцовому верстаті показав, що він априорі відповідає постулату вибіркового здрібнення і особливостям структурно-механічних властивостей зерна пшениці, зокрема реологічних.

Тенденційний характер розвитку наукових основ, відомі недоліки техніки і технології здрібнення обумовлюють більшу тривалість, високу енерго- і матеріалоемність сучасних технологій виробництва борошна й обмеженість її асортименту. Тому інтенсифікація здрібнення зерна пшениці і жита, яка направлена на підвищення використання харчового потенціалу зерна і скорочення витрат виробництва, відноситься до актуальної науково-технічної проблеми сучасності.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Основні розділи роботи виконувалися відповідно до координаційних і тематичних планів АПК України, ОДАХТ (ОНАХТ) і кафедри технології переробки зерна, які реалізовувалися в проблемній науково-дослідній лабораторії.

Концепція роботи – створення динамічного стану фізико-механічної системи „робочі органи – дисперсний гетерогенний продукт”, що забезпечує їх безперервну взаємодію, спрямовану на повний енергозберігаючий розрив міжфазних зв'язків під

дією генерованих інерційними силами нормальних і тангенціальних напруг гармонічного характеру з періодом меншим за період їх релаксації і рівнем, забезпечуючим вибірковість здрібнення фаз до дисперсності, що відповідає оптимальному стану їхніх споживчих властивостей.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є розвиток прикладних методів теорії інтенсифікації технологічних процесів стосовно до завдань технології здрібнення зернових продуктів і створення на їх основі високовибіркових, енерго- і матеріалозберігаючих способів, устаткування і технологій виробництва борошна з поліпшеними хлібопекарськими властивостями.

Поставлена мета обумовлює рішення наступних науково-практичних задач:

- обґрунтувати об'єктивну необхідність розвитку наукових основ інтенсифікації процесу здрібнення для створення високоефективних техніки та технологій здрібнення зерна пшениці;

- розробити стратегію, об'єктивні показники і критерії оцінки технологічної ефективності розділяючих процесів;

- науково обґрунтувати області застосування розсіювачів і пневматичних класифікаторів для розділення харчових тонкодисперсних систем за крупністю та інтенсифікувати розмельний етап сортового помелу зерна пшениці;

- науково обґрунтувати шкалу крупності проміжних продуктів і розширити наукові основи побудови драного, сортувального і ситов'яльного процесів у технології виробництва сортового борошна;

- розробити теоретичні основи зниження енерговитрат при подрібненні реологічних тіл і привести узагальнений закон здрібнення П.О. Ребіндера до інженерних розрахунків;

- розробити теоретичні основи високовибіркових і енергозберігаючих способів здрібнювання, модель, експериментальний і дослідно-експериментальний зразки відцентрового вальцювого верстата (ВВВ), провести комплексну оцінку технічного рівня розроблених технічних рішень;

- розробити математичну модель руху газодисперсного потоку в робочому об'ємі ВВВ і науково-обґрунтовану методику розрахунку його основних геометричних, кінематичних і технологічних параметрів на основі теорій подібності і моделювання;

- розробити технологічні схеми оббивних, дво- і трисортних помелів зерна пшениці і жита із застосуванням ВВВ, технічні умови на борошно оббивне високодисперсне;

- апробувати результати досліджень у виробничих умовах і показати технологічну, енергетичну і економічну ефективність на практиці.

Об'єкт досліджень – процеси і технологія здрібнення зерна пшениці і жита.

Предмет досліджень – фізико-хімічні і структурно-механічні властивості зерна пшениці, жита і продуктів їх здрібнювання; основи теорії і практика вибіркового

подрібнювання у ВВВ.

Методи досліджень: системного підходу до аналізу, кількісного опису і технологічної оцінки процесів здрібнення і сортування сипких дисперсних систем; узагальнення і аналогізації фізичних явищ і технологічних процесів; теоретичного прогнозування сумарних інтенсифікуючих ефектів на основі математичного опису технологічних процесів; теорії подібності, аналізу розмірностей і моделювання; інтегральних аналогів і суперпозиції; комбінування конструкцій; статистичного підходу до вивчення процесів ймовірного характеру і статистичної обробки результатів експериментальних досліджень; елімінування при математичному описі фізичних явищ; інженерного прогнозування; економічного аналізу при визначенні техніко-економічної ефективності результатів досліджень.

Наукова новизна отриманих результатів. Визначено тенденції, сформульовані перспективні напрямки розвитку техніки і технології здрібнення зерна пшениці, науково обгрунтовані методи їх комплексної інтенсифікації.

Вперше науково обгрунтована і практично підтверджена можливість скорочення тривалості технології виробництва борошна за допомогою підвищення вибіркості здрібнення.

Вперше ефективність процесу здрібнення зерна пшениці розглянута з позиції системного підходу до аналізу його кількісно-якісних показників і комплексної інтенсифікації наступних процесів технології виробництва борошна - сортування і збагачення.

Установлено закономірність розподілу частинок за крупністю в продуктах подрібнення зерна пшениці і доведено механізм його крихкого руйнування при технологічній вологості.

Науково обгрунтована стратегія оцінки технологічної ефективності процесів здрібнення і розділення продуктів здрібнення за крупністю з позиції фізичної суті явищ, що протікають у них, і єдиних критеріїв їх оцінки.

Науково обгрунтовані задачі крупноутворюючого процесу сортового помелу зерна пшениці на основі системного підходу до критеріальної оцінки процесів здрібнення і сортування продуктів здрібнення з метою їх підготовки до збагачення.

Отримано залежність критерію агрегування тонкодисперсних частинок від їх щільності для інженерних розрахунків

Науково обгрунтовані крупність і якість проміжних продуктів, які направляють на збагачення, методологія побудови крупноутворюючого, сортувального і ситовіального процесів при сортових помелах зерна пшениці, інтенсифікація розмельного етапу сортового помелу зерна пшениці і жита.

Науково обгрунтоване прикладання руйнуючих зусиль до зерна пшениці, розроблені теоретичні основи створення нових вискоефективних способів і устаткування для здрібнення гетерогенних, реологічних тіл.

Розроблено математичну модель руху газодисперсного потоку у відцентрово-

му вальцьовому верстаті, визначені критерії подібності, симплекси геометричної, кінематичної та фізичної подібності, отримано критеріальне рівняння процесу здрібнення.

Вперше перетворено і доведено до інженерних розрахунків узагальнений закон здрібнення П.О. Ребіндера з урахуванням реологічних властивостей подрібненого продукту і витрат енергії на холостий хід електродвигуна.

Проведено прогноз розвитку основного здрібнюючого устаткування в технології виробництва борошна і проведена комплексна оцінка перспективності розвитку, технічного рівня і конкурентоспроможності розроблених технічних рішень.

Практичне значення отриманих результатів. Розроблено критерії оцінки технологічної ефективності процесів здрібнення і розділення за крупністю продуктів здрібнення, які відповідають сучасним вимогам, об'єктивно оцінюють процеси і вказують шляхи їх інтенсифікації.

Визначено значення критерію агрегування для продуктів розмелу зерна пшениці і встановлені області ефективного застосування способів розділення дисперсних систем за крупністю в технологіях сортового помелу зерна пшениці.

Розроблено принципову технологічну схему розмельного процесу сортового помелу зерна пшениці, що передбачає скорочення до 60 % площі розсійників і зниження до 6...8 % навантаження на 2 і 3 розмельні системи.

Вперше розроблено нові способи здрібнення і відцентровий вальцьовий верстат для їх реалізації, котрі перевершують за технологічною і енергетичною ефективністю вальцьовий верстат.

Розроблено методику розрахунку відцентрового вальцьового верстата, що передбачає його масштабування.

Розроблені технологічні схеми оббивного помелу зерна пшениці на відцентрових вальцьових верстатах, які дозволяють отримувати борошно оббивне з відбором борошна I сорту до 5,0 % і борошно оббивне високодисперсне з поліпшеними хлібопекарськими властивостями.

Розроблено технологічну схему оббивного помелу зерна жита на відцентрових вальцьових верстатах з відбором борошна сіяного до 5,0 %.

Розроблено проект технічних умов на борошно оббивне пшеничне високодисперсне.

Розроблено схеми і режими систем дво- і трисортного помелів зерна пшениці на відцентрових вальцьових верстатах.

Розроблені технології були апробовані у виробничих умовах.

Основні рекомендації й висновки, що містяться в дисертації, впроваджено в навчальний процес, вони використовуються при вивченні дисциплін „Наукові основи технології зернових продуктів”, „Технологія мукомельного виробництва”, „Науково-технічний прогрес в зернопереробних галузях”, „Гуманітарні проблеми спеціальності”, у курсовому і дипломному проектуванні, на виробничих практиках.

Особистий внесок здобувача. Автором розроблені: програма аналітичних і експериментальних досліджень, наукові основи інтенсифікації процесу і технології здрібнення зернових продуктів, способи високовибіркового здрібнення і відцентровий вальцьовий верстат для їх реалізації, технологічні схеми помелу зерна пшениці і жита, технологія виробництва високодисперсного оббивного борошна, забезпечене методичне оформлення, аналіз і узагальнення отриманих результатів. Здобувачем виконані аналітичні і експериментальні дослідження, сформульовані висновки і рекомендації, підготовлені матеріали досліджень до публікацій, оформлені заявки на патенти, розроблена нормативна документація, проведена промислова апробація розроблених технологій. Особистий внесок здобувача підтверджується поданими документами і науковими публікаціями.

Ряд досліджень у промислових умовах виконано разом з аспірантом В. Хо-мою, магістрами І. Беланом і С. Чухрієм, студентами А. Шевченком, І. Юрговим та ін.

Апробація результатів дисертації. Основні результати роботи доповідалися і одержали схвалення на щорічних наукових конференціях ОТХП; ОДАХТ; ОНАХТ (Одеса 1993-2006р.); Першій національній науково-практичній конференції «Хлібо-продукти-94» (Одеса, 1994 р.); Міжнародних науково-практичних конференціях «Хлібопродукти» (Одеса, 2000, 2002, 2005, 2006 р.); наукових конференціях „Проблеми і досвід охорони навколишнього середовища в республіці” (Дніпропетровськ, 1990 р.), „Прогресивні технології та удосконалення процесів харчових виробництв – 2000” (Харків, 2000 р.).

Публікації. За результатами дисертаційної роботи опубліковано 57 наукових праць, у тому числі, 38 публікацій у спеціалізованих журналах і збірниках наукових праць, тези 14 доповідей на наукових конференціях, отримано 2 патенти Росії і 3 авторські свідоцтва.

Структура і обсяг роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, 6 розділів, висновків, списку літератури, який включає 291 найменування (25 стор.) і 9 додатків на 158 стор. Зміст роботи викладено на 395 сторінках, включаючи: 46 рисунків (24 стор.), 73 таблиці (46 стор.).

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність теми, розкрито суть і стан наукової проблеми, сформульовано концепцію і наукові положення роботи, дана її загальна характеристика.

У першому розділі розглянуті еволюція, тенденції й перспективні напрямки розвитку техніки і технології здрібнювання в харчових виробництвах, узагальнена характеристика фізичних і структурно-механічних властивостей дисперсних систем, технологічні аспекти їх зміни під дією механічних навантажень, реологічні властивості зерна пшениці і характерних особливостей його здрібнення в технології výro-

бництва борошна.

Показано, що об'єктивні умови розвитку харчових виробництв сприяли розробці і впровадженню численних способів здрібнення, подрібнювачів і технологій здрібнення. Рухійною силою сучасного етапу цього розвитку є раціональність використання харчового потенціалу сировини, енерго- і матеріалоресурсів при виробництві традиційних і нових видів харчових продуктів. Найбільш складний вид здрібнення реалізується в технологіях сортових помелів зерна пшениці, які характеризуються великою тривалістю, енерго- і матеріалоємністю. Інтенсифікація помелів стримується застосуванням способом здрібнення у вальцових верстатах, що априорі відповідає постулату вибіркового здрібнення і особливостям структурно-механічних властивостей, зокрема реологічних.

Встановлено, що розробка високовибіркових способів і ефективних технологій здрібнення вимагає розвитку їх наукових основ на базі методології системного підходу до аналізу впливу кількісно-якісних показників продуктів здрібнення на ефективність реалізації наступних технологічних процесів.

Показано, що спосіб прикладання руйнуючих зусиль із мінімальним ковзанням продукту, який подрібнюється, по поверхні робочих органів підвищує вибіркoвість здрібнення. Багаторазове періодичне прикладання руйнуючих зусиль з періодом, погодженим з кінетикою релаксації напруг у подрібненому продукті, і генерування руйнуючих зусиль за допомогою інерційних сил сприяє зниженню енерговитрат на здрібнення. Виключення твердих кінематичних зв'язків при передачі руйнуючих зусиль від робочих органів здрібноувача до подрібнюваного продукту знижує металоємність подрібнювача.

У другому розділі розроблені програма досліджень (рис. 1), наукові основи інтенсифікації процесу і технології здрібнення зерна пшениці при виробництві хлібопекарського борошна.

Показано, що об'єктивна оцінка ефективності технологічних процесів у критеріальній формі, заснована на аналізі фізичних явищ, що протікають у них, відноситься до пріоритетних напрямків інтенсифікації типових технологій.

Обґрунтована необхідність і розроблені критерії оцінки технологічної ефективності вибіркового здрібнення і сортування продуктів здрібнення у вигляді:

$$E_c = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{\varepsilon_i - \gamma_i}{100 - \alpha_i} \cdot \gamma_i, \quad E_n = I_n \cdot \frac{\sum_{i=1}^n d_i \gamma_i'}{\sum_{i=1}^n D_i \gamma_i} \cdot \sum_{i=1}^n (I_i' \gamma_i' - I_i \gamma_i) \cdot 10^{-4} + I_n \cdot \frac{z_n - z_0}{z_n} \quad (1)$$

$$E_n = \frac{I_n (z_n - z_0)(z_{on} - z_0)}{(z_{on} - z_0)(z_n - z_0)}, \quad E_m = \frac{I_m (z_m - z_0)(z_n - z_{on})}{(z_n - z_{on})(z_n - z_0)} \quad (2)$$

де E_c , E_n – відповідно критерії ефективності сортування дисперсних систем за крупністю і вибіркового здрібнення, %; ε_i – вилучення i -ої фракції в i -ий продукт, %; γ_i – вихід i -го продукту, %; α_i – вміст i -ої фракції у вхідному продукті, %; n – кількість продуктів розділення; D_i і d_i – відповідно крупність i -их фракцій до і після

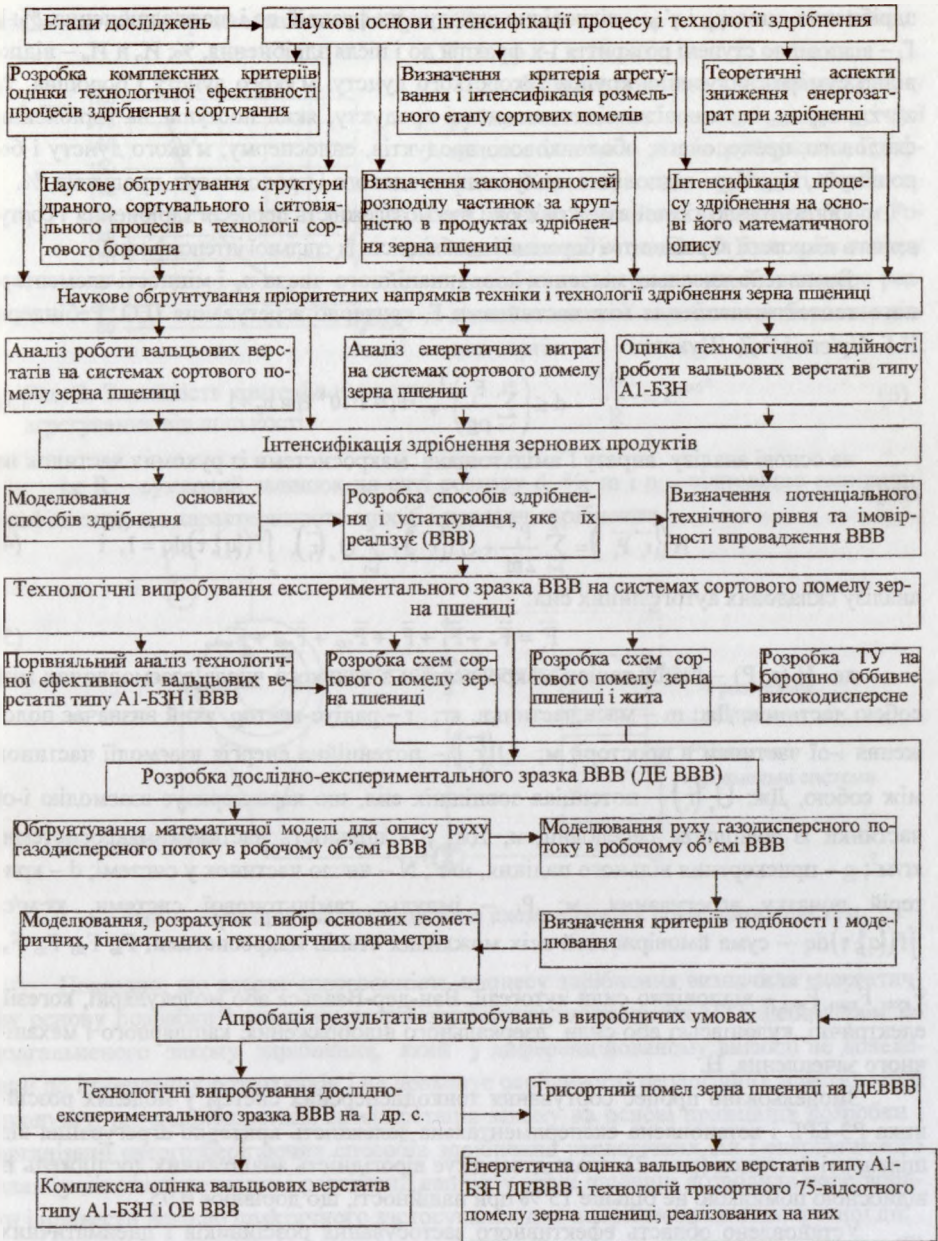


Рис. 1. Програма досліджень

здрібнення, мкм; γ_{fi} і γ'_{fi} – відповідно виходу і-их фракцій до і після здрібнення, %; I_p , I'_i – відповідно ступені розкриття і-х фракцій до і після здрібнення, %; I_o й I_n – відповідно сумарні вилучення крупок і жорсткого дунсту, м'якого дунсту і борошна, %; z_o , z_{cx} , z_{np} , z_{op} , z_s , z – відповідно зольності продукту, який поступає на здрібнення, сходового, проходдового, оболонкового продуктів, ендосперму, м'якого дунсту і борошна, %, I_{cx} , I_{np} – відповідно вилучення сходового і проходдового продуктів, %.

Обґрунтовано тісний взаємозв'язок і взаємозалежність процесів здрібнення і сортування в технології виробництва борошна і необхідність їх спільної інтенсифікації.

Визначено чисельні значення координаційного числа n_g і міцності елементарного контакту зчеплення між частинками F_i критерію агрегування П.О. Ребіндера, Н.Б. Урєва і Е.Д. Щукіна:

$$d \leq \left(\sum_{i=0}^k \frac{F_i}{\rho g_i} \right)^{1/3}, \quad F_i = 1 \cdot 10^{-8} \text{ Н и } n_g = 3 \quad (3)$$

на основі аналізу виразу Гамільтоніана макросистеми із рухомих частинок по ситу:

$$H(\{\vec{r}_i, \vec{p}_i\}) = \sum_{i=1}^N \frac{p_i^2}{2m} + U(\{\vec{r}_i\}) + \sum_{i=1}^N U_o(\vec{r}_i), \quad \int f(\{q\}, \tau) dq = 1, \quad i \quad (4)$$

аналізу складових аутогезійних сил:

$$\vec{F}_i = \vec{F}_w + \vec{F}_k + \vec{F}_e + \vec{F}_{\text{вдВ}} + \vec{F}_{\text{ем}} + \vec{F}_{\text{мех}}, \quad (5)$$

де $H(\vec{r}, \vec{p})$ – гамільтоніан макросистеми з великого числа взаємодіючих між собою частинок, Дж; m – маса частинки, кг; \vec{r} – радіус-вектор, який визначає положення і-ї частинки в просторі, м; $U(\{\vec{r}_i\})$ – потенційна енергія взаємодії частинок між собою, Дж; $U_o(\vec{r}_i)$ – потенціал зовнішніх сил, що характеризує взаємодію і-ї частинки із зовнішнім середовищем, Дж; ρ – щільність частинок макросистеми, кг/м³; g – прискорення вільного падіння, м/с²; N – число частинок у системі; d – критерій початку агрегування, м; P_i – імпульс гамільтонової системи, кг·м/с; $\int f(\{q\}, \tau) dq$ – сума ймовірностей всіх можливих станів макросистеми; F_w , F_k , F_e , $F_{\text{вдВ}}$, $F_{\text{ем}}$, $F_{\text{мех}}$ – відповідно сили аутогезії, Ван-дер-Ваальса або молекулярні, когезії, електричні, кулонівські або сили дзеркального відображення, капілярного і механічного зачеплення, Н.

Змодельовано процес сортування тонкодисперсних систем у моделях розсійника РЗ-БРБ і встановлена експериментальна залежність критерію агрегування від щільності частинок (рис. 2), яка підтверджує вірогідність аналітичних досліджень із відносною помилкою не більше 15 % при надійності, що дорівнює 0,95.

Установлено область ефективного застосування розсійників і пневматичних класифікаторів для розділення тонкодисперсних систем з розвиненими аутогезійними властивостями за крупністю і запропонована технологічна схема розмельних систем, що передбачає скорочення 60 % площі розсійників і зниження на 6...8 % нава-

нтаження на 2 і 3 розмельні системи (рис. 3).

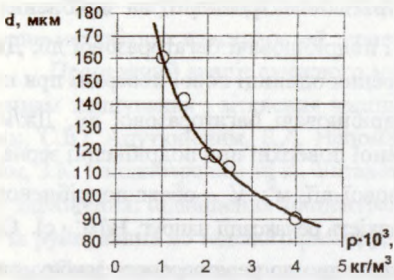


Рис. 2. Залежність критерію початку агрегування від щільності

Установлено, що в основі механізму руйнування зерна пшениці технологічної вологості лежить теорія руйнування Гриффітса. Характеристика крупності здрібнення зерна пшениці описується рівнянням Розіна-Рамлера і є одним із критеріїв вибору способу і устаткування здрібнення при реалізації технології виробництва борошна різних сортів:

$$\frac{100}{R} = e^{md^n} \quad (6)$$

де R – сумарний залишок на ситі розміру d, %; m і n – відповідно емпіричні коефіцієнти, що характеризують спосіб і продукт здрібнення.

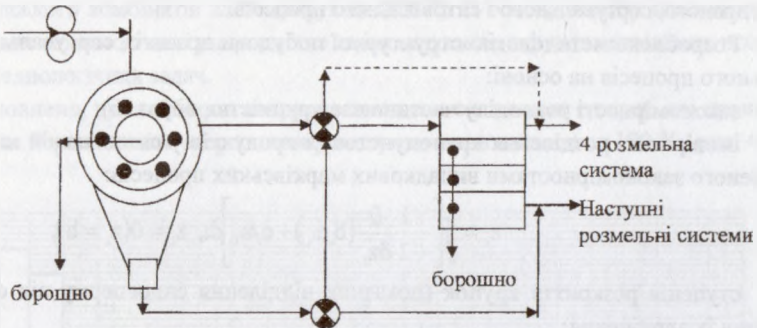


Рис. 3. Принципова технологічна схема перших розмельних систем

Показано, що висока енергоємність процесу здрібнення визначила енергетичну основу розробки і розвитку теорій здрібнення, приведених П.О. Ребіндером до узагальненого закону здрібнення, який у диференційованому вигляді не доведений до інженерних розрахунків і не враховує особливості реологічних властивостей продукту, що подрібнюється. Інтерпретація закону на основі принципів розробки і організації енергозберігаючих способів здрібнення реологічних тіл і енергетичного аналізу кінетики розвитку і релаксації напруг у зерні пшениці дозволила перетворити і привести його до практичного застосування для подрібнювачів однократної дії:

$$A_{n/c} = A_{n/c} + 1,5W_{n/c} \Delta S_{n/c} \quad (7)$$

багаторазової дії:

$$A_{\text{цвс}} = A_{\text{ххцвс}} + \frac{1}{2} \rho_p V t + W_{\text{цвс}} \Delta S_{\text{цвс}}, \quad (8)$$

де $A_{\text{в/с}}$, $A_{\text{цвс}}$ і $A_{\text{ххцвс}}$, $A_{\text{ххцвс}}$ – відповідно витрати електроенергії на здрібнення і холостий хід двигуна у вальцовому верстаті і подрібнювачі багаторазової дії, Дж; $W_{\text{в/с}}$ і $W_{\text{цвс}}$ – відповідно витрати енергії на утворення одиниці нової поверхні при подрібненні зерна у вальцовому верстаті і подрібнювачі багаторазової дії, Дж/м²; $\Delta S_{\text{в/с}}$ і $\Delta S_{\text{цвс}}$ – відповідно величина знову утвореної поверхні при подрібненні зерна у вальцовому верстаті і подрібнювачі багаторазової дії, м²; V – обсяг подрібненого зерна, м³; t – час здрібнення зерна, с; ρ_p – швидкість релаксації напруг, Н/(м² · с). Основу енергозберігаючого способу здрібнення, відповідно до перетвореного закону, становить багаторазовість прикладання руйнуючих зусиль з періодом, меншим періоду релаксації напруг у подрібненому продукті.

Показано, що відсутність наукового обґрунтування загальновідомої шкали крупності проміжних продуктів не дозволяє пояснити численні відхилення від неї на практиці і не сприяє прийняттю науково обґрунтованих рішень при структурній побудові схем драного, сортувального і ситовіального процесів.

Розроблено методологію структурної побудови драного, сортувального і ситовіального процесів на основі:

закономірності розподілу частинок за крупністю, вираз (6);

імовірності розділення круподунстових продуктів у ситовіальній машині, обумовленого закономірностями випадкових марківських процесів:

$$\varepsilon_i = \int_0^t \left[-\frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial z_i} (b_i \omega_i) + c_i \omega_i \right] dt, \quad z_i = 0 (z_i = h), \quad (9)$$

ступенів розкриття крупок (показник відділення ендосперму від оболонки) і ступеня їх здрібнення:

$$I = \frac{n_i Z_i + n_{\text{он}} Z_{\text{он}}}{N z_i} \cdot 100, \quad I = [1 - e^{k(i-1)}]^N \cdot 100, \quad (10)$$

нового постулату рівнопадіння - частинки різної зольності при певній крупності можуть мати рівні швидкості витання в одному і тому ж середовищі:

$$k_p = \frac{\rho_{\text{в/с}}^{\text{ср}}}{\rho_{\text{в/с}}^{\text{п}}}, \quad (11)$$

де ε_i – імовірність винесення частинок i -ої фракції із шару в продукти розділення; z_i – положення частинок i -ої фракції в псевдосвідженому шарі; c_i – статистичний коефіцієнт, який має зміст швидкості упорядкованого руху частинок i -ої фракції під впливом зовнішнього поля; b_i – статистичний коефіцієнт, котрий є мірою неупорядкованості руху і має зміст коефіцієнта дифузії частинок i -ої фракції; ω_i – щільність розподілу ймовірності, що має зміст відносної концентрації частинок i -ої фракції в суміші; N , n_i , $n_{\text{он}}$ – відповідно, кількість частинок загальна, ендосперму і оболонкових продук-

тив; k_p – коефіцієнт рівнопадіння; $\vartheta^{\alpha}_{n/z}$, $\vartheta^{\pi}_{n/z}$ – відповідно швидкості падіння частинок сходового і проходowego низько- і високозольних продуктів, м/с; I – ступінь розкриття, %; i – ступінь здрібнення; k , K – емпіричні коефіцієнти, що залежать від структурно-механічних властивостей зернопродуктів, способу і умов здрібнення.

Проведений аналіз сучасного математичного опису процесу здрібнення з урахуванням змішування і зіткнення частинок, отриманого В.В. Кафаровим, С.Ю. Дороховим, С.Ю. Арутюновим, Е.А. Непомнящим, А.Т. Бачура-Рідом, О.А. Александровським, З.К. Галіанберовим та ін. Установлено параметри і фактори інтенсифікації процесу здрібнення: підвищення концентрації крупних класів у зоні здрібнення і ймовірності їх руйнування до заданого розміру; зниження агрегування дрібних частинок у робочому об'ємі; організація процесу в полі масових сил, що забезпечує вибірковість здрібнення для дисперсної фази і вихору із стоком для несучої фази.

У третьому розділі обґрунтовані пріоритетні напрямки і методи комплексної інтенсифікації драного, шліфувального і розмельного процесів на основі аналізу роботи вальцових верстатів у схемах сортового помелу зерна пшениці на комплектному і традиційному устаткуванні Одеського, Білоцерківського, Куліндорівського, Раменського і Бельцького комбінатів хлібопродуктів (КХП). В основу аналізу покладена диференційована технологічна і енергетична оцінка процесів з фундаментальних позицій фізики і їх технологічних задач.

Установлено, що найбільш енергонасиченими системами є перші дві драни системи, у яких перевищення енергопотуку над розмельними досягає 100 % (рис. 4).

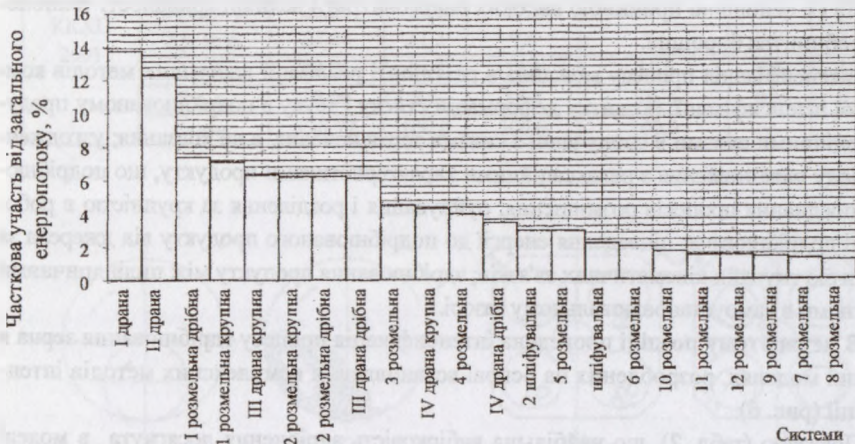


Рис. 4. Діаграма розподілу енергопотуку на процеси здрібнення по системах

Питомі витрати електроенергії перших розмільних систем значно перевищують інші розмільні і особливо перші драни (рис. 5). Зниження витрат електроенергії на здрібнення слід починати з перших драних і розмільних систем.

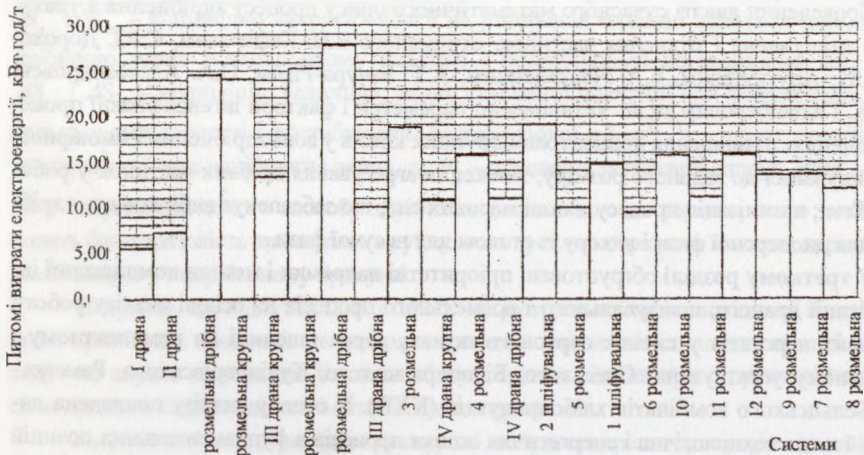


Рис. 5. Діаграма питомих витрат електроенергії на здрібнення по системах

Організація і реалізація здрібнення у вальцовому верстаті апріорі відповідає особливостям структурно-механічних і реологічних властивостей зернопродуктів (табл. 1) і є основною причиною високих енерговитрат і великої тривалості технологій виробництва борошна.

Інтенсифікація процесу можлива в результаті реалізації наступних методів комплексної інтенсифікації: розвитку деформації стиску і зсуву в подрібнюваному продукті інерційними силами в сполученні з силами тертя кочення, а не ковзання; узгодження періоду навантаження з релаксаційними характеристиками продукту, що подрібнюється; поєднання процесів розміщення, руйнування і розділення за крупністю в робочій зоні подрібнювача; підведення енергії до подрібнюваного продукту від джерела за допомогою гнучких кінематичних зв'язків; здрібнювання продукту між циліндричними поверхнями в самоустановлювальному зазорі.

В четвертому розділі проведена інтенсифікація процесу здрібнювання зерна в фізичних моделях, розроблених на основі встановлених комплексних методів інтенсифікації (рис. 6).

Показано (табл. 2), що найбільша вибірковість здрібнення досягнута в моделі «а» і «г». Ефективність вибіркового здрібнення в А1-БЗН порівняна з ефективністю в моделі «г» і поступається моделі «а».

На основі механізму руйнування в моделі «а» науково обґрунтовані, розроблені й створені нові способи високо вибіркового та енергозберігаючого здрібнюван-

ня зерна пшениці, модель і експериментальний зразок відцентрового вальцювого верстата (ЕВВВ) (рис. 7).

Таблиця 1

Значення критеріїв відповідності механізму руйнування особливостям структурно-механічних властивостей для розмельних систем першої якості

Місце і час відбору проб	Системи	Питоми витрати електроенергії w.		Індекси роботи за		w/W _B	w/W _R
		кВт·год/т	%	Бондом W _B , %	Ріггингером W _R , %		
ОКХП 1999	1 р. кр. с.	24,07	18,4	5,7	9,8	3,2	2,5
	1 р. м. с.	24,55	18,8	9,2	14,4	2,0	1,7
	2 р. кр. с.	25,56	19,6	35,8	17,5	0,6	1,4
	2 р. м. с.	27,84	21,3	19,6	22,5	1,1	1,2
	3 р. с.	18,75	14,4	16,6	19,1	0,9	1,0
	5 р. с.	10,00	7,5	13,1	16,7	0,6	0,6
	Разом:	130,77	100,0	100,0	100,0	—	—
ОКХП 2000	1 р. кр. с.	24,07	18,4	8,4	8,7	2,2	2,1
	1 р. м. с.	24,55	18,8	12,2	16,9	1,5	1,1
	2 р. кр. с.	25,56	19,6	31,0	33,5	0,6	0,6
	2 р. м. с.	27,84	21,3	15,2	15,4	1,4	1,4
	3 р. с.	18,75	14,4	17,4	16,4	0,8	0,9
	5 р. с.	10,00	7,5	15,8	9,1	0,5	0,8
	Разом:	130,77	100,0	100,0	100,0	—	—
ККХП 2001	1 р. кр. с.	24,07	18,4	14,4	10,8	1,3	1,7
	1 р. м. с.	24,55	18,8	13,4	41,4	1,4	0,4
	2 р. кр. с.	25,56	19,6	27,9	20,0	0,7	1,0
	2 р. м. с.	27,84	21,3	9,8	5,6	2,2	3,8
	3 р. с.	18,75	14,4	18,1	11,5	0,8	1,2
	5 р. с.	10,00	7,5	16,4	10,7	0,5	0,7
	Разом:	130,77	100,0	100,0	100,0	—	—

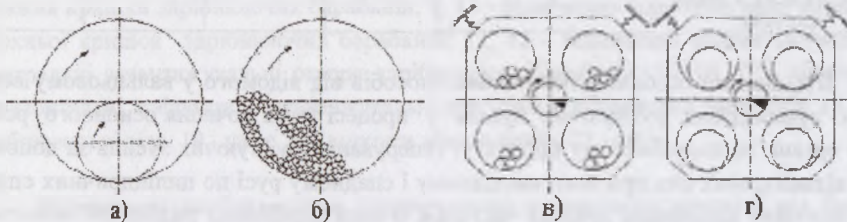


Рис. 6. Моделі способів здрібнення твердих матеріалів

Ефективність вибіркового здрібнення зерна пшениці на моделях і вальцювому верстаті Куліндорівського КХП

Подрібнювач	Склопо-дібність, %	Крупки й дунсти		Борошно		Ефективність здрібнення E, %
		вихід, %	ступінь розкриття, %	Вихід, %	Зольність, %	
Модель «а»	Висока	5,7	90,8	1,5	1,32	33,7
		15,8	88,8	4,1	0,88	36,2
		20,7	89,4	6,0	0,70	37,3
	Низька	15,7	90,7	6,9	0,76	41,0
Модель «б»	Висока	2,90	75,5	8,4	3,78	3,7
		8,30	78,6	10,4	3,56	4,4
		4,3	77,8	16,0	3,95	1,1
	Низька	8,1	82,9	37,5	2,25	0,4
Модель «в»	Висока	10,7	84,7	5,2	1,38	24,4
		12,5	83,8	7,6	1,25	25,8
		13,6	81,8	7,7	1,18	27,5
		17,5	83,5	9,7	1,05	28,6
		17,6	84,0	10,5	1,00	29,8
	Низька	8,3	90,5	9,2	1,48	25,6
		16,1	90,3	13,4	1,32	27,1
		14,3	93,5	15,4	1,25	29,3
Модель «г»	Висока	14,9	79,9	13,7	0,92	34,1
		14,2	82,1	16,6	1,00	32,4
		22,5	83,3	20,2	0,90	32,2
	Низька	8,5	87,2	7,9	1,50	25,8
		11,5	89,1	11,7	1,40	27,6
Молоткова дробарка МД	Низька	12,9	85,8	13,7	1,21	31,4
		16,7	88,7	12,7	1,85	13,0
		14,8	81,9	13,1	1,88	11,1
		14,9	85,7	9,6	1,84	14,7
		17,3	85,8	11,2	1,82	14,0
		17,4	86,0	8,4	1,80	16,0
		20,7	88,2	10,0	1,85	15,2
		17,8	89,2	9,0	1,82	15,8
Куліндорівський КХП, вальцювий верстат типу А1-БЗН, І драна система	Низька	27,0	88,5	3,0	0,67	34,4

Відмінними особливостями нових способів від відомого у вальцювому верстаті є: прикладання руйнуючих зусиль у процесі тертя кочення основного робочого органа по подрібненому продукту; генерування руйнуючих зусиль за допомогою відцентрових сил при його висхідному і спадному русі по циліндричних спіралях; постійне відведення дрібних частинок із зони здрібнення радіальної складової обертового газодисперсного потоку, організованого твердою системою робочих органів; мінімізація процесів ковзання зерна по робочих органах і стирання оболонки; багаторазовість впливу на подрібнений продукт з періодом, обумовленим виразом:

$$2.31 \frac{\lg\left(\frac{a_1}{\sigma_y}\right)}{b_1} \leq t_n \leq 2.31 \frac{\lg\left(\frac{a_2}{\sigma_n}\right)}{b_2} \quad (12)$$

де σ_y, σ_n – відповідно межі пружності і міцності, Н/м²; t_n – час між актами навантаження, с; a_1, a_2, b_1, b_2 – емпіричні коефіцієнти.

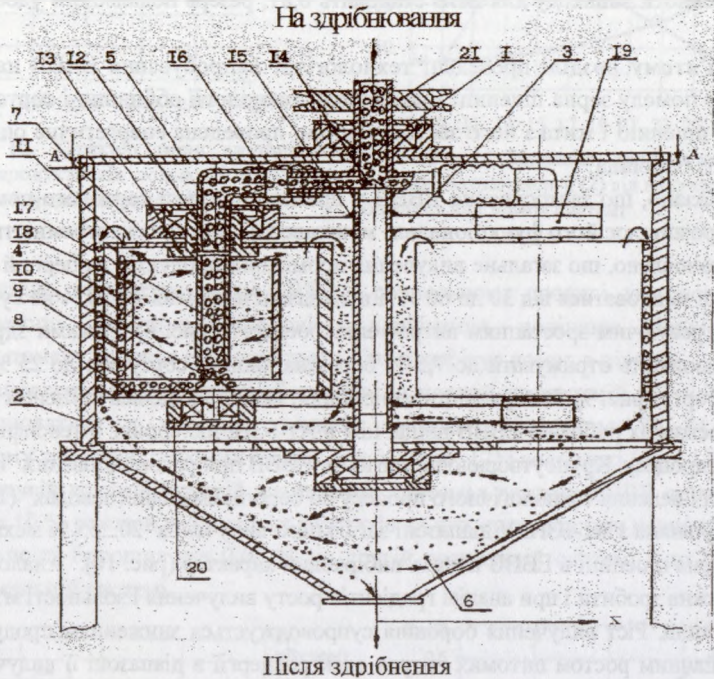


Рис. 7. Модель подрібнювача: 1 - вал; 2 - циліндричний корпус; 3 - плечі во-дила; 4 - здрібнюючі барабани; 5 - кришка корпуса; 6, 10, 14 - відповідно конуси розвантажувального, розподільного і завантажувального вузлів; 7, 8 - відповідно верхня і нижня кришки здрібнюючих барабанів; 9, 13 - відповідно консольні вали нижньої і верхньої кришок здрібнюючих барабанів; 11, 12 - відповідно розвантажувальні і центральні завантажувальні отвори здрібнюючих барабанів; 15, 16, 17 - відповідно горизонтальні, гофровані і завантажувальні патрубкі здрібнюючих барабанів; 18 - подрібнювальні тіла; 19 - пази; 20 - корпуси підшипників; 21 - шків.

Відмінними особливостями відцентрового вальцьового верстата від базової моделі А1-БЗН є: відсутність жорсткого кінематичного зв'язку між основними робочими органами; відсутність фіксованого зазору для здрібнення; зміна руйнуючих зусиль у широкому діапазоні; можливість двоетапного здрібнення без виходу продукту з подрібнювача; суміщення процесу здрібнення і пневмосепарації за крупністю в

робочому об'ємі подрібнювача; спрощена геометрія поверхні основних робочих органів. Перевірка його на перспективність розвитку по відношенню до кращих зразків вальцьових верстатів провідних фірм світу показала, що ВВВ відноситься до першої категорії прогнозування із семантичною оцінкою «досить перспективно», має високий потенційний технічний рівень і високу ймовірність впровадження у виробництво. Коефіцієнт повноти винаходу для ВВВ становить 0,81, резерв подальшого удосконалення – 0,19.

В п'ятому розділі проведені технологічні випробування ЕВВВ на системах сортового помелу зерна пшениці і розроблені технології обивних і сортових помелів зерна пшениці і жита з його застосуванням, проведена енергетична оцінка помелів і якості борошна.

Показано, що застосування ЕВВВ у драному процесі сортового помелу зерна пшениці розширює його функціональні можливості і знижує енергоємність процесу.

Установлено, що загальне вилучення проміжних продуктів на першій драпій системі може змінюватися від 30 до 60 % і в діапазоні вилучень 30-50 % не супроводжується прогресуючим зростанням витрат електроенергії (рис. 8). Режими здрібнення в ЕВВВ дозволяють отримувати до 7,5 % борошна вищого сорту або до 25 % борошна першого сорту (рис. 9). Вибірковість здрібнення, яка оцінювалась ступенем розкриття, при всіх режимах роботи в ЕВВВ вища, ніж в А1-БЗН, що сприяє інтенсифікації ситов'яльного процесу. Крупоутворююча здатність ЕВВВ при рекомендованих "Правилами організації і ведення технологічного процесу на борошномельних заводах" (1998 р.) режимах порівняна з А1-БЗН. У діапазоні загального вилучення 20...55 % механізм здрібнення зерна пшениці в ЕВВВ носить вибіркового характеру (рис. 10). Аналогічний висновок можна зробити і при аналізі градієнтів росту вилучення і зольності м'якого дунсту і борошна. Ріст вилучення борошна супроводжується зниженням продуктивності ЕВВВ і значним ростом питомих витрат електроенергії в діапазоні її вилучення, що дорівнює 25...27 % (рис. 11). При режимах роботи, рекомендованих "Правилами організації і ведення технологічного процесу на борошномельних заводах" (1988 р.) енерговитрати в ЕВВВ мінімум на 40 % нижче, ніж в А1-БЗН (рис. 8).

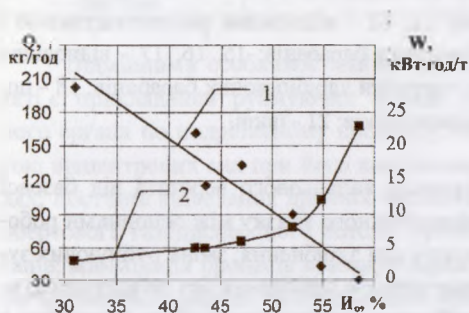


Рис. 8. Залежність продуктивності (1) і питомих витрат електроенергії (2) від загального вилучення на I драпій системі

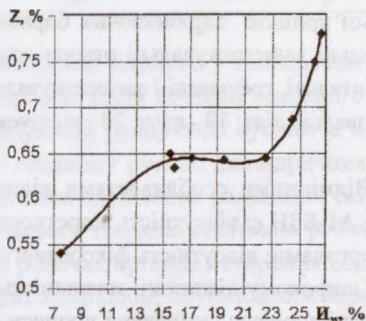


Рис. 9. Залежність зольності борошна від його вилучення на I драпій системі.

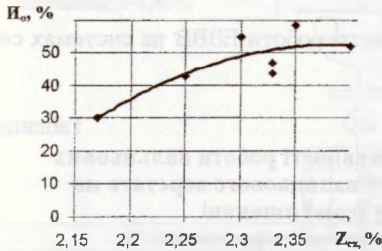


Рис. 10. Характер зміни вилучення проміжних продуктів від зольності сходових продуктів на I драній системі.

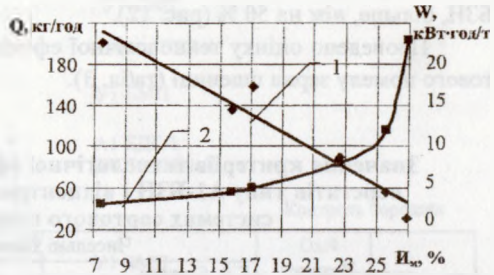


Рис. 11. Залежність продуктивності (1) і питомих затрат енергії (2) від вилучення борошна на I драній системі

Показано, що застосування ЕВВВ у розмельному процесі сортового помелу зерна пшениці підвищує вибірковість здрібнення, поліпшує кількісно-якісні показники помелу, знижує енерговитрати і інтенсифікує помел в цілому.

Установлено, що вилучення борошна на першій розмельній крупній системі може змінюватися в широких межах, досягаючи значення 80...84 % при монотонному зростанні питомих витрат енергії (рис. 12) і зольності (рис. 13).

На другій крупній і третій розмельних системах режими ЕВВВ перевищують мінімум на 10 % режими вальцових верстатів на цих системах при незначному зниженні зольності борошна від 0,02 % на другій розмельній системі і до 0,09 % на третій розмельній системі.

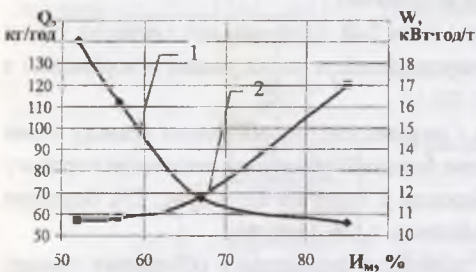


Рис. 12. Залежність продуктивності ЕВВВ (1) і питомих витрат електроенергії (2) від вилучення борошна на 1 розмельній крупній системі

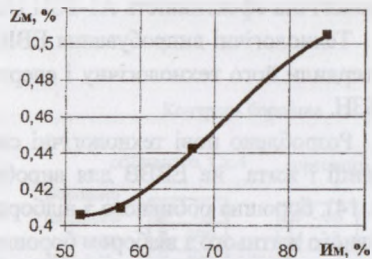


Рис. 13. Залежність зольності борошна від його вилучення при здрібненні в ЕВВВ продуктів, що надходять на 1 розмельну крупну систему

Підвищення обертів основного вала до 615 хв⁻¹ дозволяє довести режим 1-ої розмельної системи до 84 % при підвищенні зольності борошна до межі вишого сорту і прогресуючому зростанні питомих витрат електроенергії. Новий спосіб здри-

бнення і реалізуючий його ЕВВВ мають меншу енергоємність у порівнянні з А1-БЗН, більше, ніж на 50 % (рис. 12).

Проведено оцінку технологічної ефективності роботи ЕВВВ на системах сортового помелу зерна пшениці (табл. 3).

Таблиця 3

Значення критеріїв технологічної ефективності роботи вальцьових верстатів типу А1-БЗН і відцентрового вальцьового верстата на системах сортового помелу зерна пшениці

Система	Устаткування	Чисельні значення критеріїв ефективності, %				
		Г.А. Єгорова і А.Б. Маралова	Г.І. Креймермана і С.Л. Маєвської	А.С. Ільїна	Л.Е. Айзиковича і А.Н. Ніколенка	О.А. Нетребського
І др. с.	А1-БЗН	14,2	2,6	22,8	22,0	24,4
	ЦВС	13,4	7,4	20,7	14,4	22,2
ІІ др. с.	А1-БЗН	30,6	30,2	28,1	39,0	52,8
	ЦВС	32,2	21,0	43,1	26,5	52,9
1 р. с.	А1-БЗН	5,3	23,0	23,2	-0,05	23,4
	ЦВС	11,9	51,7	52,6	-0,50	52,7
2 р. с.	А1-БЗН	16,2	27,3	29,1	-0,14	29,9
	ЦВС	20,9	35,3	37,8	-0,16	38,8
3 р. с.	А1-БЗН	15,8	32,1	33,5	-0,25	34,1
	ВВВ	25,8	52,2	55,3	-0,54	55,5

Установлено, що технологічна ефективність роботи ЕВВВ на І і ІІ драних системах порівняна з технологічною ефективністю А1-БЗН, і на 1, 2 і 3 розмельних системах перевищує її відповідно на 29,9 і 21,0 %. На наступних розмельних системах технологічна ефективність А1-БЗН і ЕВВВ порівнянна.

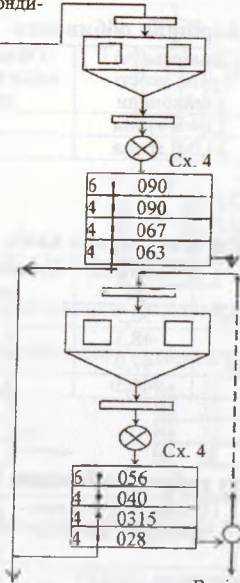
Технологічні випробування ЕВВВ на 1-й та 2-й шліфувальних системах також підтвердили його технологічну і енергетичну доцільність застосування в порівнянні з А1-БЗН.

Розроблено нові технологічні схеми і режими систем оббивного помелу зерна пшениці і жита на ЕВВВ для виробництва борошна оббивного високодисперсного (рис. 14), борошна оббивного з відбором борошна І сорту до 5,2 % (рис. 15), борошна оббивного житнього з відбором борошна сіяного до 5,0 % (рис. 16).

Показано, що застосування ЕВВВ дозволило скоротити в оббивному помелі пшениці кількість систем до двох, а в житньому - до трьох. Отримане за розробленими технологіями борошно характеризується вищими показниками якості (табл. 4, 5).

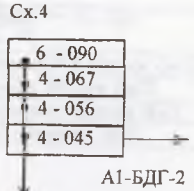
Проведено порівняльну енергетичну оцінку технологій оббивного помелу зерна пшениці і жита на А1-БЗН і ЕВВВ. Установлено, що ефективність здробнення в ЕВВВ по індексу роботи за Бондом більше, ніж в 4 рази перевищує в А1-БЗН (табл. 6), а загальні витрати електроенергії знизились на 50 % і більше.

Зерно після очистки і кондиціонування, $Z=1,63\%$



У1-БМП
I др.с., ВВВ-1
У1-БМП
А1-БДГ-1
ЗРШ4-4М-1

Контроль борошна



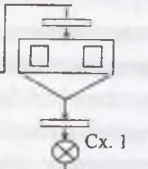
У1-БМП
II др.с., ВВВ-2
У1-БМП
А1-БДГ-2
ЗРШ4-4М-2

Борошно оббивне високодисперсне

Борошно оббивне високодисперсне $I=95,9\%$, Висівки $I=1,1\%$, $Z=6,0\%$
 $Z=1,58\%$, на контроль

Рис. 14. Технологічна схема виробництва борошна пшеничного оббивного високодисперсного із застосуванням відцентрового вальцевого верстата

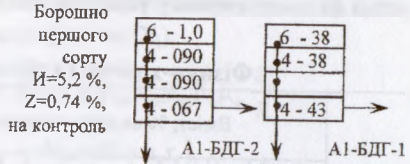
Зерно після очистки і кондиціонування, $Z=1,63\%$



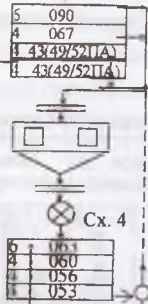
У1-БМП
I др.с., ВВВ-1
У1-БМП
А1-БДГ-1
ЗРШ4-4М-1

Контроль борошна

оббивного, Сх.4 сортового, Сх.4



Борошно оббивне стандартне $I=90,7\%$, $Z=1,63\%$, на контроль



У1-БМП
II др.с., ВВВ-2
У1-БМП
А1-БДГ-2
ЗРШ4-4М-2

Борошно першого сорту $I=5,2\%$, $Z=0,74\%$, на контроль

Борошно оббивне

Борошно I сорту

Висівки $I=1,1\%$, $Z=6,0\%$

Рис. 15. Технологічна схема оббивного помелу зерна пшениці з відбором сортового борошна із застосуванням відцентрового вальцевого верстата і деташера А1-БДГ

Таблиця 4

Показники якості борошна оббивного

Борошно оббивне	Зольність, %	Вологість, %	Кількість (%) і група якості клейковини	Об'ємний вихід хліба з 100 г борошна, см ³	Пористість, %
Високодисперсне	1,58	14,1	23,4 II група	263	63
Стандартне	1,58	14,5	24,0 II група	220	61

Таблиця 5

Показники якості житнього хліба

Найменування виробів	Вологість, %	Кислотність, град	Пористість, %
Хліб житній з борошна оббивного, м'яна «Нагема»	50,5	11,0	45,7
Хліб житній з борошна оббивного, ЕВВВ	48,3	9,8	48,1
Хліб житній з борошна сіяного, м'яна «Нагема»	47,0	7,0	57,0
Хліб житній з борошна сіяного, ЕВВВ	45,5	5,5	58,5

Таблиця 6

Вихідні дані для розрахунку індексу роботи за Бондом і його значення

Найменування зерна	Розмір отворів сит, мкм		Питома витрата електроенергії, квт-год/т	Індекс роботи за Бондом, квт-год мкм ^{0,5} /т
	D ₉₀	d ₉₀		
Традиційна технологія на А1-БЗН				
Пшениця	3700	490	21,0	72,40
Жито	4200	520	21,57	74,30
Нова технологія на ВВВ				
Пшениця	3700	160	8,5	13,50
Жито	4200	180	10,0	16,95

Розроблено нові технологічні схеми і режими систем дво- і трисортного 75 - відсоткового помелів зерна пшениці (рис. 17) з виходом борошна вищого сорту 43,5 і 44,8 % відповідно, першого сорту - 32,1 і 18,7 %, другого - 13,0 %.

Установлено, що застосування ЕВВВ у сполученні з російниками РЗ-БРБ і РЗ-БРВ у схемах сортового помелу зерна пшениці скоротило протяжність драного процесу до 3-х систем, розмельного - до 5-ти систем при збереженні показників помелів на комплектному устаткуванні (табл. 7).

Таблиця 7

Фізико-хімічні і хлібопекарські властивості борошна

Сорт борошна	Вміст, % на суху речовину							Сира клейковина		Показники валориграфа			Пробна випічка хліба	
	Блок	крохмаль	зола	клейковина	жир	пентозани	водорозчинні речовини	вміст, %	ДК, ум. од.	водопоглинальна здатність, %	стійкість, хв	розрядження, хв	об'єм, см ³	пористість, %
Вищий	11,2	78,2	0,50	0,18	0,85	1,9	9,0	25,4	84,0	61,0	4,0	90	500	76
Перший	11,9	76,4	0,72	0,44	1,20	2,4	10,1	26,6	88,0	62,0	3,5	56	540	78
Другий	12,3	70,5	1,19	0,78	1,58	3,0	11,4	22,0	90,0	64,0	2,5	88	380	70

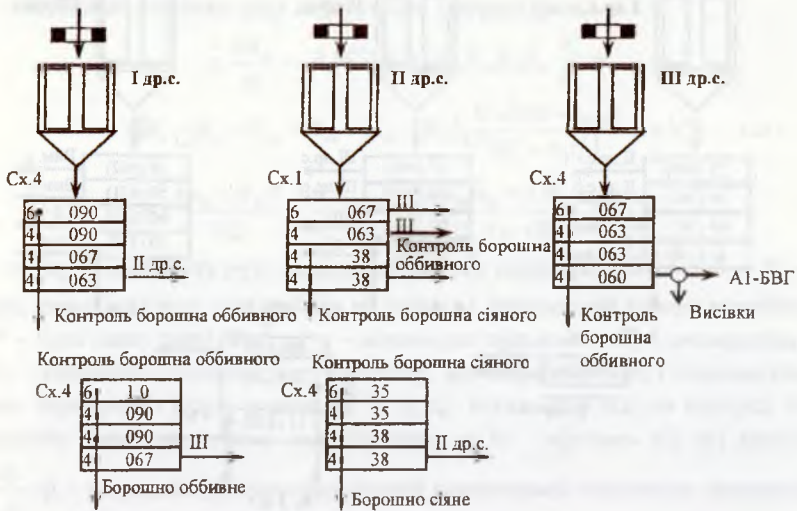


Рис. 16. Технологічна схема оббивного помелу зерна жита з відбором борошна

У шостому розділі розроблено дослідно-експериментальний зразок відцентрового вальцьового верстата (ДЕВВВ), проведена апробація результатів досліджень у виробничих умовах, дана економічна оцінка нових інженерно-технічних рішень і технічного рівня ДЕВВВ.

Обґрунтовано вибір гетерогенної моделі руху двокомпонентного потоку і математичної моделі для опису руху газодисперсного потоку в робочому об'ємі ЕВВВ. Розроблено математичну модель руху газодисперсного потоку по радіусу ЕВВВ з урахуванням дії відцентрової сили, взаємодії частинок твердої фази між собою, стінками і робочими органами здрібновача в робочій зоні, що включає: рівняння нерозривності; рівняння, що зв'язують миттєву, середню і пульсаційну швидкості газу; рівняння, що виражає закон усереднення швидкості газу і частинок; рівняння Нав'є-Стокса для зони, безпосередньо оточуючої частинки (без врахування сил ваги) і усереднені рівняння руху газодисперсного середовища (для осі X_i):

$$\begin{aligned}
 \frac{d\omega_{Ri}}{dt} + \mu_i \frac{d\vartheta_{Ri}}{dt} = & \frac{1}{\rho_o} \frac{dP}{(B_c + r_o + B_T)} + \mu [K \bar{\mu}_1 \bar{\mu}_2 \bar{\mu}_3 \bar{\mu}_4 \bar{\mu}_5 \bar{\mu}_6 \bar{\mu}_7 \bar{\mu}_8] \frac{\vartheta_{Ri}^2}{R_i} + \\
 & + 2(I_{\alpha} + I_c + I_{\alpha\alpha} + I_{\alpha\beta} + I_{\alpha\gamma} + I_{\alpha\delta}) \cdot \frac{\vartheta_{Ri}^2 (\pi R + n_o r_o)}{(R^3 - n_o r_o^2)} \cdot (1+k) + \\
 & + n_s \frac{m_s \vartheta_s^2}{R_s} + g \left[\frac{(\omega_{Ri} - \vartheta_{Ri})^2}{\vartheta_{Ri}^2} + \frac{\vartheta_{Ri}^2}{R_i} \right] + 7 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{n_s r_o \vartheta_s^2}{\pi (R^3 - r_o^2 n_s - r_s^2)} + \\
 & + \nu \bar{\omega}_{Ri}^2 \omega_{Ri} - \frac{\nu \text{div} \omega_{Ri}}{3 \frac{dr_o}{dt}} - \frac{1}{\rho_o} \frac{d(\rho_o \bar{\omega}_{Ri} \bar{\omega}_{Ri} + \mu \bar{\vartheta}_{Ri} \bar{\vartheta}_{Ri})}{d(B_c + r_o + B_T)}; \quad (13)
 \end{aligned}$$

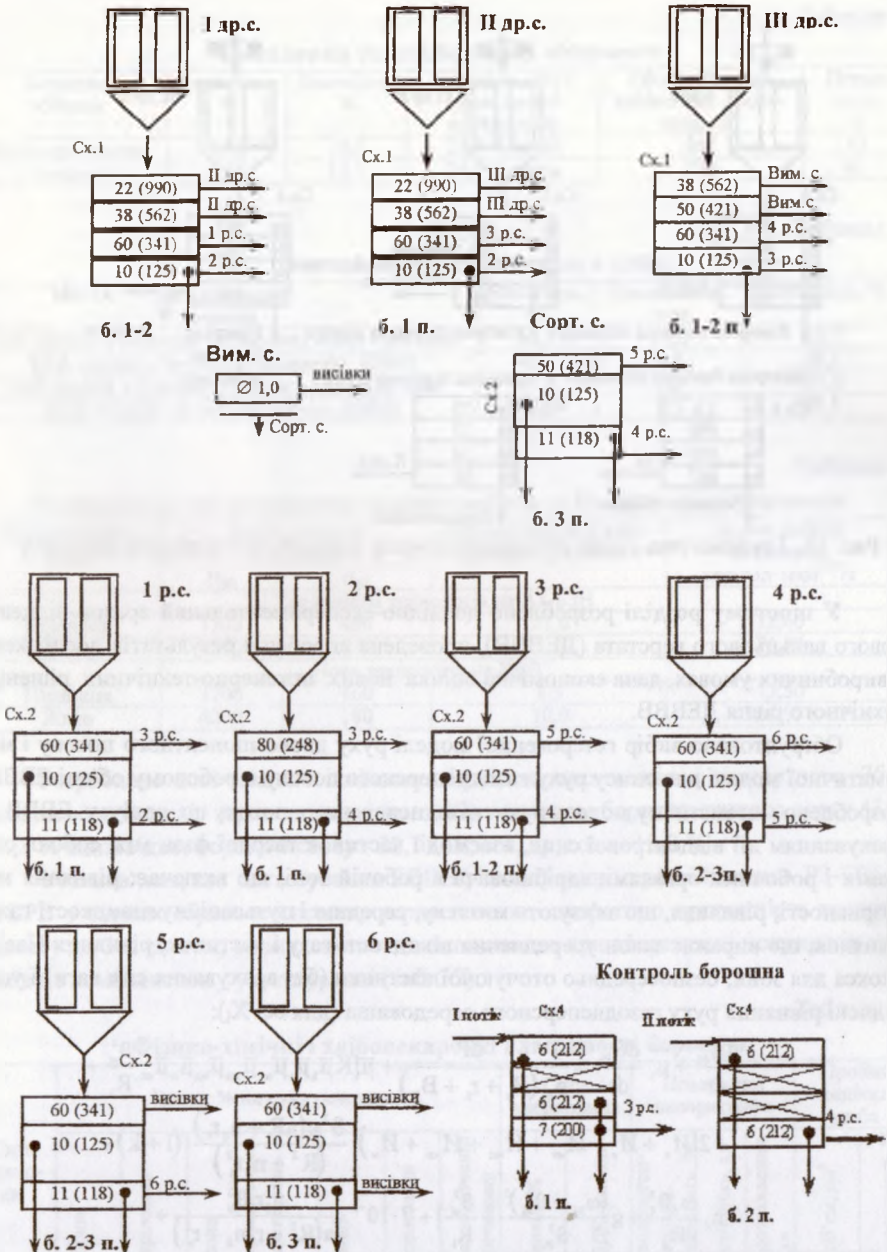


Рис. 17. Технологічна схема трисортного 75-відсоткового помелу зерна пшениці з використанням вальцевого верстату типу ВВВ

Виконано розрахунок основних геометричних, кінематичних і технологічних параметрів ДЕВВВ з умов його подібності ЕВВВ.

Умови подібності для моделі і натури отримані у вигляді:

$$F'' = F' = \text{idem} \text{ або } \left(\frac{\vartheta_6^2}{R, g} \right)'' = \left(\frac{\vartheta_6^2}{R, g} \right)' = \text{idem}, \quad (16)$$

$$\mu'' = \mu' = \text{idem}, \quad (17)$$

$$\frac{(\pi R + n_6 r_6^2)''}{(R^2 - n_6 r_6^2)''} (1+k)'' = \frac{(\pi R + n_6 r_6^2)'}{(R^2 - n_6 r_6^2)'} (1+k)' = \text{idem}, \quad (18)$$

$$\frac{(n_6 r_6^2)''}{(R^2 - n_6 r_6^2 - r_b^2)''} = \frac{(n_6 r_6^2)'}{(R^2 - n_6 r_6^2 - r_b^2)'} = \text{idem.}, \quad (19)$$

Параметри R і r_6 визначені з рівняння продуктивності ВВВ:

$$Q = f(\rho, \vartheta_6, R, m_6, g, d_n, r_6, H_6, W_3, \nu_6, I_0, C3), \quad (20)$$

де Q – продуктивність, кг/с; d_n – діаметр завантажувального патрубку, м; W_3 – вологість зерна, %; C3 – склоподібність, %; H_6 – висота барабана, м; I_0 – загальне вилучення, %.

Установлена продуктивність ДЕВВВ із умов рівності критеріїв рівняння (20), отриманих методом нульових різномірностей:

$$\frac{Q''}{\rho'' \vartheta_6'' (R^2)'' C3''} = \frac{Q'}{\rho' \vartheta_6' (R^2)' C3'} = \text{idem}, \quad (21)$$

$$\frac{g'' R_n''}{(\vartheta_6^2)''} = \frac{g' R_n'}{(\vartheta_6^2)'} = \text{idem}, \quad \frac{m_n'' n_6''}{\rho'' d_n'' r_6'' H_6''} = \frac{m_n' n_6'}{\rho' d_n' r_6' H_6'} = \text{idem}. \quad (22)$$

Визначене вилучення проміжних продуктів в ДЕВВВ за другою теоремою подібності з рівняння:

$$(I_x + I_c + I_{m_1} + I_{m_2} + I_{m_3} + I_{m_4})'' = (I_x + I_c + I_{m_1} + I_{m_2} + I_{m_3} + I_{m_4})' = \text{idem}. \quad (23)$$

Установлена вірогідність фізичного моделювання в результаті порівняння значень прогнозованих критеріїв подібності з реально отриманими. Прогнозовані вилучення проміжних продуктів і борошна входять у довірчі інтервали фактичних, отриманих при технологічних випробуваннях ДЕВВВ.

Проведено енергетичну оцінку вальцьових верстатів типу А1-БЗН і ДЕВВВ на основі перетвореного закону здрибнення, виразу (7, 8). Установлено, що кількість енергії на утворення одиниці нової поверхні в ДЕВВВ мінімум на 50 % нижче, ніж в А1-БЗН.

Проведено комплексну оцінку технічного рівня ДЕВВВ по відношенню до кращих зразків вальцьових верстатів вітчизняних (А1-БЗН) і закордонних (МДДК)

фірм. Визначено коефіцієнти технічного рівня і конкурентоспроможності, які дорівнюють відповідно $K_{ту}=1,45$, $K_{тк}=1,42$, що визначає ДЕВВВ на вітчизняному ринку як перспективний, а на зовнішньому – як конкурентоспроможний.

Проведено апробацію технологічної схеми трисортного 75-відсоткового помелу зерна пшениці у виробничих умовах Одеського КХП на ДЕВВВ. Показано, що застосування ДЕВВВ дозволило скоротити кількість драних систем до 3-х, розмельних – до 5-ти при збереженні загального виходу борошна і підвищенні виходу борошна вищого сорту на 5,33 % у порівнянні з результатами паралельного помелу на А1-БЗН.

Проведено енергетичну оцінку помелу. Установлено, що питомі середньозважені витрати електроенергії на одну тону борошна в результаті застосування ДЕВВВ знижені мінімум на 45 %.

Визначено економічну ефективність від зниження інвестиційних і експлуатаційних витрат при впровадженні нової технології трисортного 75-відсоткового помелу зерна пшениці на ВВВ для базового КХП (на комплектному устаткуванні потужністю 500 т/доб) і галузі в розмірі відповідно 1,81 і 82,77 млн. грн і 1,77 і 76,09 млн. грн/рік.

ВИСНОВКИ

1. Узагальнення теоретичної спадщини і вікової практики здрібнення гетерогенних дисперсних систем вказало на об'єктивну необхідність розвитку наукових основ і комплексної інтенсифікації технології здрібнення зерна пшениці. У дисертації представлено науково обгрунтоване рішення проблеми створення наукових основ інтенсифікації здрібнення зерна пшениці і жита і розробка нових високоефективних, ресурсозберігаючих способів і устаткування для здрібнення зерна з метою створення менш протяжних технологій виробництва хлібопекарського борошна, підвищення рівня використання харчового потенціалу зерна, поліпшення хлібопекарських властивостей борошна і зниження енерго- і матеріалоемності виробництва.

2. Установлено, що спосіб здрібнювання зернопродуктів у міжвальцьовому зазорі сучасних вальцьових верстатів, заснований на однократному розвитку руйнуючих нормальних і тангенціальних напруг, які генеруються жорсткою кінематичною системою вальців зустрічно обертових з різною швидкістю, супроводжується ковзанням здрібнюваного продукту по поверхні робочих органів, розвитком надмірних руйнуючих зусиль і апіорі відповідає постулату вибіркового здрібнювання, особливостям структурно - механічних властивостей зерна пшениці, зокрема реологічних, і є основною причиною великої протяжності технологій виробництва борошна, її високої енерго- і матеріалоемності.

3. Науково обгрунтована якість і дисперсність проміжних продуктів для їх наступного ефективного збагачення з позиції фізичної суті явищ, що протікають у драному, сортувальному і ситов'яльному процесах сортового помелу зерна пшениці, і системного підходу до аналізу їх технологічної ефективності. Розроблено комплекс

сні критерії оцінки технологічної ефективності вибіркового здрібнювання, об'єктивно оцінюючи процес і вказуючи шляхи його інтенсифікації і оптимізації.

4. Визначено чисельне значення критерію агрегування для здрібнених зернопродуктів, яке дорівнює 140...160 мкм. Установлено зону ефективного застосування способів розділення на ситах і в потоках повітряного розділяючого середовища для тонкодисперсних зернових продуктів. Розроблено нову технологічну схему розмельного процесу із застосуванням високоефективних пневматичних класифікаторів типу ЦАФП-ЗР після здрібнюючих машин перед розсієником. Розроблена схема дозволила скоротити до 60 % площі розсієників і знизити до 6...8 % навантаження на 2 і 3 розмельних системах.

5. Доведено механізм крихкого руйнування зерна пшениці при технологічній вологості в результаті моделювання його в моделях сучасних способів, які імітують здрібнювання. Установлена закономірність розподілу частинок за крупністю, яка описується рівнянням Розіна - Рамлера. Отримано емпіричні коефіцієнти рівняння для конкретних умов здрібнювання зерна пшениці різної склоподібності. Установлено залежність ступеня розкриття проміжних продуктів від ступеня їх здрібнювання і науково обгрунтовані режими здрібнювання в драному процесі.

6. Приведений до інженерних розрахунків узагальнений закон П.О. Ребіндера з урахуванням особливостей реологічних властивостей подрібнюваного продукту. Проведено диференційований аналіз його складових і науково обгрунтоване зниження енерго- і матеріаловират у результаті: багаторазового прикладання руйнуючих зусиль до подрібнюваного продукту з періодом, меншим періоду релаксації напруг у ньому; генерування руйнівних напружень за допомогою інерційних сил і підведення їх до подрібнюваного продукту за допомогою гнучких кінематичних зв'язків.

7. Науково обгрунтований спосіб прикладання руйнуючих зусиль для реалізації високоефективного вибіркового здрібнювання, розроблені нові способи здрібнювання і відцентровий вальцьовий верстат. Запропоновані способи здрібнювання забезпечують багаторазове прикладання руйнуючих зусиль до висхідного і спадного по циліндричній спіралі шару зерна і зернопродуктів у процесі вільного кочення у відцентровому полі сил подрібнюючого робочого органа по циліндричній поверхні із самоустановлювальним зазором, що підвищило вибірковість здрібнювання на основних системах виділення борошна, (1, 2, і 3 розмельних) відповідно на 30, 9 і 20 %, а вихід борошна вищого сорту - мінімум відповідно на 16, 10 і 10 % і знизило енерговитрати мінімум на 45 %.

8. Визначено критерії моделювання, симплекси геометричної і кінематичної подібності й розроблена методика розрахунку ВВВ на основі математичного моделювання руху газодисперсного потоку у відцентровому полі сил, генерованих жорсткою системою його подрібнюючих органів. Апробація методики на прикладі масштабування, проектування і технологічних випробувань ДЕВВВ у виробничих умо-

вах показала високу відтворюваність технологічних параметрів процесу.

9. Науково обґрунтована методологія побудови структури драного, сортувального і ситовіального процесів у технології сортового помелу зерна пшениці і розроблені нові технологічні схеми двосортного і трисортного помелів зерна пшениці з виходом борошна вищого сорту відповідно 43...44 і 44...45 %; першого сорту - 31...32 і 18...19 %; другого - 13 %. Установлено, що застосування ВВВ у системах сортового помелу зерна пшениці дозволило скоротити протяжність драного процесу до 3-х систем, розмельного - до 5-ти систем при зниженні енерговитрат на 45 % і збереженні кількісно - якісних показників помелів на комплектному устаткуванні.

10. Розроблено нові технологічні схеми виробництва борошна оббивного з відбором борошна першого сорту до 5,2 %, борошна оббивного високодисперсного, борошна оббивного житнього з 5-відсотковим відбором борошна сіяного. Установлено, що застосування ВВВ у нових технологіях дозволило скоротити протяжність технологічного процесу до 2-х, 3-х систем, знизити питомі енерговитрати до 50 % і одержати новий сорт борошна пшеничного оббивного високодисперсного з поліпшеними хлібопекарськими властивостями.

11. Розроблені технології апробовані у виробничих умовах. На борошно оббивне пшеничне високодисперсне розроблена нормативна документація. Зниження інвестиційних і експлуатаційних витрат при впровадженні нової технології трисортного 75-відсоткового помелу із застосуванням ВВВ для базового КХП (на комплектному устаткуванні потужністю 500 т/доб) і галузі відповідно складуть 1,81 і 82,77 млн. грн. і 1,77 і 76,9 млн. грн/рік.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ ВИКЛАДЕНИЙ У НАСТУПНИХ ПУБЛІКАЦІЯХ:

Статті в спеціалізованих наукових виданнях

1. Нетребский А.А. Определение производительности цепробежного пневматического классификатора // Произ. техн. сб. НИИЭИР «Обмен производственно-техническим опытом». – М., 1990. – № 12. – С. 14–15.
2. Нетребский А.А. Стендовые испытания барабанного питателя / А.А. Нетребский, А.И. Никулян, Г.М. Коновенко // Произв. техн. сборник НИИЭИР "Обмен производственно-техническим опытом". – М., 1990. – № 11. – С. 63–65.
3. Нетребский А.А. Интенсификация процесса измельчения в технологии сортового помола зерна. // 36. наук. пр. ОДАХТ – О., 1997. – Вып. 18. – С. 17–19.
4. Нетребский А.А. Измельчение в вентилируемом измельчителе отрубей и ях влияние на хлебопекарные свойства. / А.А. Нетребский, Н.А. Жиленко // 36. Наук. пр. ОДАХТ. – О., 1997. Т.1. – С. 93–95.
5. Нетребский А.А. Критерий оценки процесса сепарирования. // 36. Наук. пр. ОДАХТ. – О., 1997. Т.1. – С. 126–128.
6. Нетребский А.А. Оценка эффективности процесса измельчения при сортовых помолах

// 36. Наук. пр. ОДАХТ. – О., 1997. Т.1. – С. 34–36.

7. Мерко И.Т. Современные представления о модели прочности зерновых культур / И.Т. Мерко, В.А. Моргун, А.А. Нетребский // 36. Наук. пр. ОДАХТ. – О., 1997. Т.1. – С. 101–104.

8. Нетребский А.А. Интенсификация процесса измельчения в технологии сортового помола зерна // 36. наук. пр. ОДАХТ – О., 1997-98. – Вып. 18. – С. 6–10.

9. Нетребський О.А. Закономірність розподілення часток за крупністю у продуктах здрібновання зерна пшениці // 36. наук. пр. ОДАХТ. – О., 1999. – Вып. 19. – С. 18–22.

10. Нетребский А.А. Селективность измельчения зерна пшеницы на крупнообразующих системах // Хранение и перераб. зерна – 1999. – № 6. – С. 24–26.

11. Нетребський О.А. Аналіз роботи вальцових верстатів на драних системах // 36. наук. пр. ОДАХТ – О., 1999. – Вып. 20. – С. 15–24.

12. Нетребський О.А. Технологічна ефективність сучасних засобів здрібновання на крупотворюючих системах // 36. наук. пр. ОДАХТ – О., 1999. – Вып. 19. – С. 15–17.

15. Нетребский А.А. Анализ энергетических затрат в процессах измельчения в технологии сортового помола зерна пшеницы. // Хранение и перераб. зерна. – 2000. – № 2. – С. 27–30.

14. Мерко И.Т. Технологические испытания экспериментального образца центробежного вальцового станка на размольных системах первого качества. /И.Т. Мерко, В.А. Моргун, А.А. Нетребский // Хранение и перераб. зерна. – 2000. – №4. – С. 15–21.

15. Нетребский А.А. Моделирование нового способа измельчения и центробежного вальцового станка для его реализации // Хранение и перераб. зерна. – 2000. – №4 – С. 23–25.

16. Мерко И.Т. Анализ критериев эффективности процесса измельчения в технологии производства муки / И.Т. Мерко, В.А. Моргун, А.А. Нетребский // 36. наук. пр. Харк. Держав. акад. технології та організації харчування. – Х., 2000. – Ч. 2. – С. 45–48.

17. Нетребський О.А. Аналіз роботи вальцових верстатів на шліфувальних системах // Хранение и перераб. зерна. – 2001. – №2(20). – С. 57–58.

18. Нетребский А.А. Повышение эффективности шлифовочного процесса. // Хранение и перераб. зерна. – 2001, – № 3 (21) – С. 51–55.

19. Нетребский А.А. Интенсификация измельчения крупок первого качества. /А.А. Нетребский, В.Е. Хома, А.Т. Шевченко // Хранение и перераб. зерна. – 2001. – №6(24) – С. 49–52.

20. Нетребский А.А. Исследование режимов работы центробежного вальцового станка на первой драной системе при сортовых помолах зерна пшеницы // 36. наук. пр. ОДАХТ – О., 2001. – Вып. 21. – С. 83–93.

21. Нетребський О.А. Сортовий помел пшениці за енергоощадною технологією на відцентрових вальцових верстатах // Зерно і хліб. – 2001. – №3. – С. 38.

22. Нетребский Ю.А. Анализ работы вальцовых станков на размольных системах первого качества / Ю.А. Нетребский, В.Е. Хома // Хранение и перераб. зерна. – 2002. – №3(33). – С. 44–48.

23. Нетребский А.А. Прогноз массового внедрения центробежного вальцового станка в технологию производства муки // Хранение и перераб. зерна. – 2002. – № 11(41). – С. 34–36.

24. Нетребский А.А. Первая группа систем размольного этапа на центробежных вальцовых станках. /А.А. Нетребский, В.Е. Хома // Хранение и перераб. зерна. – 2002, – № 11 (41) – С. 34–36.

25. Нетребський О.А. Проблеми і перспективи розвитку технології здрібнення зерна пшениці. // Зернові продукти і комбікорма. – 2002. – № 2. – С.15–18.

26. Нетребский А.А. Новая технология производства высокодисперсной обойной муки. / Зерновые продукты и комбикорма. – 2002. – №4. – С.30–32.

27. Нетребский А.А. Определение производительности центробежного вальцового станка // Хранение и перераб. зерна. – 2002. – № 8 (38). – С.49–50.

28. Нетребский А.А. Разработка схемы двухсортного помола зерна пшеницы на центробежных вальцовых станках. // 36. наук. пр. ОДАХТ. – О., 2002. – Вып. 26. – С.97–101.
29. Нетребский А.А. Перспективные направления повышения хлебопекарных свойств муки в процессе измельчения // Хранение и перераб. зерна. – 2002. – № 5 (35). – С.42–43.
30. Нетребский А.А. Научные основы построения крупобразующего и ситовеечного процессов в технологии производства сортовой муки // Зерновые продукты и комбикорма. – 2003. – № 1. – С. 26–28.
31. Нетребский А.А. Сравнительный анализ технологической эффективности вальцовых станков типа А1-БЗН и ЦВС в технологии сортового помола зерна. /А.А. Нетребский, В.Е. Хома, С.В. Чухрий, И.В. Белан // Зерновые продукты и комбикорма. – 2003. – № 3. – С. 45–47.
32. Нетребский А.А. Критерий оценки эффективности избирательного измельчения в технологии производства муки // Хлебопродукты. – 2003. - №12 – С. 20–21.
33. Нетребский А.А. Трехсортный помол зерна пшеницы на центробежных вальцовых станках. /А.А. Нетребский, В.Е. Хома // 36. наук. пр. ОДАХТ. – О., 2003. – Вып. 26. – С. 11–14.
34. Нетребский А.А. Теоретические аспекты снижения энергозатрат при измельчении зерна пшеницы // Зерновые продукты и комбикорма. – 2004. – №1. – С. 42–45.
35. Нетребский А.А. Энергетическая оценка вальцовых станков типа А1-БЗН и ЦВС // Зерновые продукты и комбикорма. – 2004. - № 4. – С. 40–43.
36. Нетребский А.А. Энергетическая оценка технологии трехсортного 75 % помола зерна пшеницы на вальцовых станках типа А1-БЗН и ЦВС /А.А. Нетребский, В.Е. Хома // Хлебопродукты. – 2004. – № 11. – С. 36–37.
37. Нетребский А.А. Разработка технологии обойного помола зерна ржи на центробежных вальцовых станках с отбором муки сеяной // Зерновые продукты и комбикорма. – 2006. – № 2. – С. 45–48.
38. Нетребский А.А. Научное обоснование шкалы крупности промежуточных продуктов при сортовых помолах зерна пшеницы // Хранение и перераб. зерна. – 2006. – № 7. – С. 23–25.
39. А.с. № 1648871 СССР. МКИ В65G 53/46. Барабанный питатель /А.А. Нетребский, Г.М. Коновенко – № 4685835/11; заявлено 27.04.89. опубл. 15.05.91. Бюл. № 18. – 4 с. ил.
40. А.с. № 1729967 СССР. МКИ В65G 53/46. Роторный питатель для сыпучего материала /А.А. Нетребский, А.И. Никуляк, Г.М. Коновенко – № 4802353/11; заявлено 15.03.90. опубл. 30.04.92. Бюл. № 16. – 6 с. ил.
41. А.с. № 1724361 СССР, МКИ ВО2С 17/08. Способ тонкого измельчения материалов в планетарной мельнице и устройство для его осуществления /А.А. Нетребский, А.И. Никуляк, Э. В. Корнякова, А.П. Шибанов (СССР). – №4818191/33; заявлено 24.04.90. опубл. 07.04.92. Бюл. № 13. – 8 с. ил.
42. ПАТ. 2067900 Россия, МКИ В07В 7/083. Центробежный аппарат для фракционирования сыпучих материалов / А.А Нетребский. – № 48488181; заявлено 06.06.90. опубл. 20.10.96. Бюл. № 29. – 7 с. ил.
43. ПАТ. 2067899 Россия, МКИ В07В 7/083. Способ фракционирования тонкодисперсных порошков / А.А. Нетребский. – № 4835112/03; заявлено 06.06.90. опубл. 20.10.96. Бюл. № 29. – 8 с.
44. Нетребский А.А. Определение скорости разрушающего удара упругих материалов / А.А. Нетребский, Г.М. Коновенко // Тез.докл.науч.-практ. конф. «Социально-экономические и научно-технические проблемы агропромышленного комплекса» ОТИПП (Одесса, 9-11 октября 1989). – О., 1989. – С. 202.
45. Нетребский А.А. Разработка и испытание нового барабанного питателя для сыпучих материалов / А.А. Нетребский, А.И. Никуляк, Г.М. Коновенко // Тез.докл.науч.-практ. конф. «Научно-технические проблемы развития агропромышленного комплекса» ОТИПП (Одесса, 15-19

мая 1990 г.). – О., 1990. – С. 159.

46. Нетребский А.А. Интенсификация процесса дробления в дробилках валкового типа / А.А. Нетребский, М.В. Рыбников // Тез.докл.науч.-практ. конф. «Научно-технические проблемы развития агропромышленного комплекса» ОТИП (Одесса, 15-19 мая 1990 г.). – О., 1990. – С. 166.

47. Нетребский А.А. Определение производительности и показателей надежности работы нового барабанного питателя для сыпучих материалов / А.А. Нетребский, А.И. Никулян, Г.М. Колюнов // Тез.докл.науч.-практ. конф. «Научно-технические проблемы развития агропромышленного комплекса» ОТИП (Одесса, 15-19 мая 1990 г.). – О., 1990. – С. 168.

48. Нетребский А.А. Ресурсосберегающая технология измельчения и пневмосепарации сыпучих материалов / А.А. Нетребский, М.В. Рыбников // Тез.докл.науч.-практ. конф. «Проблемы и опыт охраны окружающей среды в республике» (Днепропетровск, 14-16 ноября 1990). – К., 1990. – Вып.1. – С. 19-20.

49. Нетребский А.А. Новый способ измельчения материалов. // Сб.тез.докл. 52 науч.конф. ОТИП (Одесса, 22-25 апреля 1992). – О., 1992. – С. 128.

50. Нетребский А.А. Новый способ классификации тонкодисперсных продуктов // Сб.тез.докл. 53 науч.конф. ОТИП (Одесса, 20-23 апреля 1993). – О., 1993. – С. 365.

51. Нетребский А.А. Интенсификация процесса измельчения в вентилируемых измельчителях. // Сб. тез. докл. 53 науч. конф. ОТИП (Одесса, 20-23 апреля 1993). – О., 1993. – С. 366.

52. Нетребский А.А. Перспективы развития нетрадиционных методов измельчения зерна пшеницы / А.А. Нетребский, С.Л. Колесниченко // Тези доп. Першої нац.наук.-практ.конф. «Хлібопродукти – 94» ОДАХТ (Одеса, 14-16 вересня 1994). – О., 1994. – С. 9.

53. Нетребский А.А. Колесниченко С.Л. Жиленко Н.И. Измельчение оболочек зерна и их использование для улучшения качества муки / А.А. Нетребский, С.Л. Колесниченко, Н.И. Жиленко // Тези доп. Першої нац.наук.-практ.конф. «Хлібопродукти – 94» ОДАХТ (Одеса, 14-16 вересня 1994). – О., 1994. – С. 21.

54. Нетребский А.А. Определение граничного диаметра разделения в центробежных пневматических классификаторах типа ЦАФП-ЗР. // Тез.докл. 55 науч.конф. ОГАПТ (Одесса, 11-14 апреля 1995). – Ч. I. – О., 1995. – С. 130.

55. Нетребский А.А. Современные представления о механизме образования, структуре и прочности агрегатов частиц тонкодисперсных систем. // Тез.докл. 55 науч.конф. ОГАПТ (Одесса, 11-14 апреля 1995). – Ч. I. – О., 1995. – С. 133.

56. Нетребский А.А. Современные центробежные пневматические классификаторы в схемах сортового помола зерна. // Тез.докл. 56 науч.конф. ОГАПТ (Одесса, 9-12 апреля 1996). – Ч. I. – О., 1996. – С. 34.

57. Нетребский А.А. Новый способ измельчения зерна пшеницы в центробежном вальцовом станке // «Хлібопродукти – 2005»: Матеріали П'ятої Міжнарод. науч.-практ.конф./ ОНАХТ. – О., 2005. – С. 29.

Особистий внесок:

1) виконання аналітичних, керівництво і участь в експериментальних дослідженнях, узагальнення результатів, підготовка матеріалів до публікації (поз. 1, 2, 19, 22, 24, 31, 44, 45, 47);

2) проведення літературного пошуку, узагальнення результатів, підготовка матеріалів до публікації (поз. 8, 16, 33, 36, 46, 48);

3) участь в експериментальних дослідженнях, узагальнення результатів, підготовка матеріалів до публікації (поз. 4, 14);

4) складання опису винаходів, складання та редагування формул винаходів, теоретичне обґрунтування запропонованих рішень (поз. 39-41).

АНОТАЦІЯ

Нетребський О.А. Наукові основи і практика інтенсифікації здрібнення зерна.

- Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.18.02 - технологія зернових, бобових, круп'яних продуктів і комбікормів. - Одеська національна академія харчових технологій Міністерства освіти і науки України, Одеса, 2006.

Обґрунтовано об'єктивну необхідність і розроблені наукові основи і методи комплексної інтенсифікації процесу і технології здрібнювання зерна пшениці і жита в борошно.

Розроблені нові технологічні схеми і режими систем оббивних і сортових помелів зерна пшениці і жита із застосуванням нових способів здрібнювання і відцентрового вальцьового верстата для їх реалізації. У оббивному помелі зерна пшениці кількість систем скорочено до двох, у житньому - до трьох. Отримано борошно оббивне пшеничне високодисперсне з поліпшеними хлібопекарськими властивостями. У сортових помелів кількість драгих систем скорочено до трьох, розмільних - до п'яти при збереженні показників помелів на комплексному устаткуванні. Питомі енерговитрати в оббивних і сортових помелах знижені відповідно на 50 і 45 %. Розроблені технології пройшли промислову апробацію, яка підтвердила обґрунтованість висновків і рекомендацій і показала економічну доцільність їх впровадження.

Ключові слова: здрібнювання, інтенсифікація, генерування, ефективність, критерій, технологічна схема, режим системи, помел.

АННОТАЦИЯ

Нетребский А.А. Научные основы и практика интенсификации измельчения зерна. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.18.02 – технология зерновых, бобовых, крупяных продуктов и комбикормов. – Одесская национальная академия пищевых технологий Министерства образования и науки Украины, Одесса, 2006.

Диссертация направлена на решение проблемы повышения эффективности известных и разработку новых ресурсосберегающих способов, оборудования и технологий измельчения зерна пшеницы и ржи в муку.

Обоснована объективная необходимость разработки научных основ и методов комплексной интенсификации процесса и технологии измельчения в производстве хлебопекарной муки. Разработанные научные основы включают: критериальную

оценку технологической эффективности процессов измельчения и сортирования, объективно оценивающую процессы и указывающую на пути их интенсификации; методологию определения критерия агрегирования и интенсификации размольного этапа сортовых помолов; обоснование механизма хрупкого разрушения зерна пшеницы технологической влажностью и определение закономерности распределения частиц по крупности в продуктах его измельчения; принципы организации энерго- и материалосберегающих способов генерирования и приложения разрушающих усилий к измельчаемому продукту; обоснование пределов крупности и качества фракций промежуточных продуктов для их эффективного обогащения; методологию разработки структуры драного, сортировочного и ситовеечного процессов; факторы и параметры интенсификации процесса измельчения на основе его математического описания. Методы комплексной интенсификации включают: генерирование инерционными силами нормальных и касательных напряжений в слое восходящего и нисходящего по цилиндрической поверхности измельчаемого продукта; развитие в измельчаемом продукте напряжений, обеспечивающих избирательность измельчения фаз; подвод разрушающих усилий к измельчаемому продукту посредством гибких кинематических связей и их гармоническое приложение посредством качения рабочих органов по измельчаемому продукту с периодом меньшим периода релаксации напряжений в нем.

Разработана технологическая схема размольных систем, сокращающая площади рассевов до 60 % и снижающая на 6...8 % нагрузку на 2 и 3 размольные системы. Разработаны новые способы измельчения и центробежный вальцовый станок (ЦВС) для их реализации, превосходящие по технологической и энергетической эффективности современные вальцовые станки. Оценка технического уровня ЦВС показала, что он имеет высокий потенциальный технический уровень, высокую вероятность внедрения в производство, относится к первой категории прогнозирования и имеет семантическую оценку "весьма перспективно".

Разработаны новые технологические схемы и режимы систем обойных и сортовых помолов зерна пшеницы и ржи с применением ЦВС. В обойном помоле зерна пшеницы число систем сокращено до двух, в ржаном – до трех. Энергозатраты снижены на 50 % и более. Получена мука обойная пшеничная высокодисперсная с улучшенными хлебопекарными свойствами. В сортовых помолах зерна пшеницы число драных систем сокращено до трех, размольных – до пяти. Удельные энергозатраты на одну тонну муки снижены на 45 % и более при сохранении показателей помолов на комплексном оборудовании.

Разработана математическая модель движения газодисперсного потока в рабочем объеме ЦВС, получено критериальное уравнение процесса измельчения, определены критерии подобия и моделирования, симплексы кинематического и геометрического подобия.

Разработана методика расчета и создан опытно-экспериментальный образец

центробежного вальцового станка (ОЭЦВС). Проведена комплексная оценка технического уровня ОЭЦВС по отношению к лучшим образцам отечественных (А1-БЗН) и зарубежных (МДДК) фирм, которая определяет ОЭЦВС на отечественном рынке как перспективный, а на внешнем как конкурентоспособный.

Промышленная апробация результатов исследований подтвердила обоснованность выводов и рекомендаций диссертационной работы, целесообразность и экономическую эффективность внедрения новых технологий.

Ключевые слова: измельчение, интенсификация, генерирование, эффективность, критерий, технологическая схема, режим системы, помол.

пашола зерна

ТЕХНОЛОГИ

Оборуд. зерн. / дитеритова система / сортової пашола / пашола зерна

ANNOTATION

Netrebskiy A.A. Scientific foundations and practice of intensification of grain grinding. – Manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences on the speciality 05.18.02 – technology of grain, leguminous, cereals and mixed fodders. Odessa National Academy of Food technologies of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Odessa, 2006.

The objective necessity has been substantiated, and scientific foundations and methods of the complex intensification of the process and the technology of grinding of wheat and rye grain into flour, have been developed.

The new technological diagrams and modes of the systems of scouring and class grinding of wheat and rye grain with application of the new methods of grinding and centrifugal rolling lathe for their realization, have been developed.

During scouring grinding of wheat grain, the number of the systems has been reduced to two ones; and during that of rye grain the number of the systems has been reduced to three ones. Wheat scouring high dispersed flour with the improved baking qualities has been obtained. In class grindings the number of torn systems has been reduced to three ones; the number of grinding systems has been reduced to five ones; the indices of grinding on the complex equipment have been saved. Specific energy expenses in scouring and class grindings have been reduced by 50 and 45 % respectively. The developed technologies have been put into practice in industry and this approbation has confirmed the validity of the conclusions and recommendations and has shown economic expediency of their introduction.

Key words: grinding, (putting into fragments), intensification, generating, efficiency, criterion, technological diagram, mode of the system, grinding.

*реановац. ст. фа.
валы / процесати /
знертозаградби*

Технологија перераб. зрна