

**ШІХАБУТІНОВА ОКСАНА ВОЛОДИМИРІВНА**

УДК 664.76; 621.926.88

**СТВОРЕННЯ ВИХРОВОЇ УСТАНОВКИ І СПОСОБУ  
ОДЕРЖАННЯ ЗАРОДКА ІЗ ЗЕРНОВИХ ПРОДУКТІВ**

Спеціальність 05.18.12 – Процеси та обладнання харчових, мікробіологічних  
та фармацевтичних виробництв

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Інституті технічної теплофізики Національної академії наук України.

Науковий керівник: доктор технічних наук **Костенко Ніна Володимирівна**, лауреат премії НАН України імені В.І. Толубинського, старший науковий співробітник Інституту технічної теплофізики Національної академії наук України

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор **Дмитрук Євген Адамович**, Національний університет харчових технологій МОН України, професор кафедри зберігання та переробки зерна  
кандидат технічних наук **Давиденко Борис Вікторович**, Інститут технічної теплофізики Національної академії наук України, провідний науковий співробітник

Захист відбудеться « 8 » квітня 2009 р. о 15<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.058.02 Національного університету харчових технологій за адресою: 01033, м. Київ, вул. Володимирська, 68, аудиторія А 311.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного університету харчових технологій за адресою: 01033, м. Київ, вул. Володимирська, 68.

Автореферат розіслано « \_\_\_\_ » березня 2009 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради  
к.т.н., доцент

Л.О. Кривопляс–Володіна

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Приоритетним напрямом виробництва продуктів харчування, що збагачені натуральними компонентами підвищеної біологічної цінності, є створення і впровадження сучасних ресурсозберігаючих обладнання і технологій, що забезпечують поглиблену комплексну переробку зернової сировини. Такі технології передбачають ефективно і повне використання основних і побічних продуктів переробки зерна, зокрема пшеничного зародка.

Клітини зародка, на відміну від інших компонентів зернової сировини, завжди зберігають свою життєдіяльність, що і обумовлює їх цінний біохімічний склад. Останнім часом спостерігається тенденція широкого використання зародка пшениці: як самостійного продукту – цілого зародка, так і зародкових пластівців, зародкового борошна, зародкової олії – як компонентів при розробці нових сортів хлібобулочних, макаронних та кондитерських виробів з підвищеною харчовою і біологічною цінністю. Зародок також використовується в мікробіологічній і косметичній промисловостях, при виробництві білково-вітамінних добавок та комбікормів.

Перешкодою одержання зернового зародка є відсутність на більшості борошномельних заводів технологій та устаткування його одержання. Крім того, зародок одержують сплюснений і подрібнений, що знижує його якість і термін зберігання внаслідок окислення жирів. В традиційній технології виробництва борошна зародок відбирають в кількості до 0,6%, а решта залишається у відходах.

Проблему одержання незруйнованого зародка пропонується вирішити шляхом обробки зерна у вихровому потоці в декілька етапів єдиного технологічного процесу: очистки від оболонки з їх відділенням, подрібнення зерна з розподілом продуктів на фракції і одержання зародка на кожному етапі.

Тому створення ресурсозберігаючих вихрової установки і способу одержання структурно незруйнованого зародка із зернових продуктів в криволінійних каналах вихрових камер є актуальним і дозволяє значно інтенсифікувати теплотехнологічні процеси, поліпшити якість та збільшити вихід високоякісного продукту зі зменшенням енерговитрат із використанням нових фізичних методів впливу – сил вихрового потоку на процеси обробки зерна в переробних і харчових виробництвах.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Наукові дослідження проводились відповідно до науково-дослідних робіт Інституту технічної теплофізики згідно постанов Президії НАНУ по тематиці відомчих і пошукових тем 1.7.1.496 «Дослідження багатокомпонентних тонкодисперсних систем в полі дії відцентрових сил» (№ держреєстрації 0199U004502), 1.7.1.596 «Дослідження тепломасопереносу в криволінійних каналах акустичних вихрових камер і створення методики їх розрахунків» (№ держреєстрації 01101U003997); з Міністерством освіти і науки України – ДНТП 03.10 «Високоєфективні ресурсозберігаючі технології зберігання і переробки сільськогосподарської продукції і виробництва харчових продуктів високої біологічної цінності» проект 03.10.0172 «Розробка та створення ефективною технології та установки одержання зародка із зернових продуктів» (№ держреєстрації 0197U014913); ДНТП 5.6.5 «Технології виробництва, зберігання і упаковки продуктів харчування високої біологічної цінності» проект 5.6.22Б «Розробка ефективною технології та пристрою одержання збагаченого рису з використанням продуктів переробки для оздоровчого харчування» (№ держреєстрації

0103U005809); господарчих договорів з підприємствами України.

Автор особисто приймала участь в проведенні теоретичних і експериментальних досліджень, створенні методик досліджень, обробці, аналізі й узагальненні отриманих результатів, розробці технічної документації на виготовлення установки та проведенні дослідно-промислових випробувань.

**Мета і завдання досліджень.** Метою роботи є створення вихрової ресурсозберігаючої установки і способу одержання структурно незруйнованого зародка із зернових продуктів на основі комплексних досліджень гідродинаміки потоків в криволінійних каналах вихрових камер, визначення режимних параметрів одержання зародка з поліпшенням якості та збільшенням виходу продукту зі зменшенням енерговитрат.

Відповідно до поставленої мети сформульовані основні задачі досліджень:

- провести аналіз сучасного стану обробки зернових продуктів та основних тенденцій розвитку технологій і обладнання одержання зародка;
- розробити математичну модель двофазного вихрового потоку у вихровій циліндричній камері з  $n$ -кратним підведенням енергоносія;
- дослідити кінетику та динаміку руху частинок різного розміру у вихровій камері;
- провести дослідження гідродинаміки вихрової камери з використанням нових фізичних методів впливу – сил вихрового потоку;
- на основі комплексних досліджень розробити спосіб стадійної обробки з інтенсифікацією теплотехнологічних процесів, подрібнення зернових продуктів і одержання структурно незруйнованого зародка;
- створити ресурсозберігаючу вихрову установку одержання зародка;
- визначити режимні параметри одержання зародка поліпшеної якості при поєднанні пропарки зерна з наступною обробкою на шершавих поверхнях вихрових камер.

*Об'єкт дослідження:* процеси гідродинаміки у вихрових камерах, обробки (очищення та подрібнення) зернових продуктів з одержанням структурно незруйнованого повноцінного зародка.

*Предмет дослідження:* вихрова установка і спосіб одержання зародка та тепло-технологічні режими.

*Методи дослідження:* сучасні методи математичного моделювання процесів гідродинаміки і обробки зернових продуктів, статистичного аналізу експериментальних та дослідних даних, традиційні теоретичні і експериментальні методи дослідження ефективності процесів.

**Наукова новизна одержаних результатів:**

- запропонована математична модель двофазного вихрового потоку в циліндричній вихровій камері з  $n$ -кратним підведенням енергоносія і врахуванням режимних і конструктивних параметрів камери;
- отримано емпіричні залежності для ряду коефіцієнтів, що визначають профіль тангенціальної швидкості, довжину ядра потоку і збереження швидкості;
- визначено, що основними силами, які діють на частинки при їх русі в газовому потоці у вихровій камері, окрім сил опору і тяжіння, є відцентрова сила, сили Коріоліса і Магнуса, що мають однаковий порядок, а ступінь їх впливу залежить від розміру частинок;
- дослідження гідродинамічних характеристик двофазного потоку показали

доцільність радіального введення матеріалу у вихрову камеру;

- вперше визначено вплив визначальних факторів на процеси обробки: n-кратного підведення енергоносія, шершавості поверхонь, геометричних характеристик перфорованих перепон, межі відцентрової нестійкості і їх зміни;
- вперше теоретично і експериментально визначені режимні параметри одержання зародка у вихровій установці з поєднанням короткочасної пропарки гарячою парою та наступною обробкою на шершавих поверхнях камер, що поліпшило якість та збільшило вихід продукту;
- запропоновано спосіб стадійного очищення зернових продуктів у вихрових камерах та їх подрібнення під дією сил вихрового потоку;
- вперше запропоновані, теоретично обґрунтовані і реалізовані засади для створення ефективних вихрової установки і способу одержання високоякісного структурно незруйнованого зародка.

**Достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій.** Наукові положення, рекомендації і висновки дисертаційної роботи обґрунтовані великим обсягом експериментальних досліджень та дослідно-промислових випробувань в широкому діапазоні геометричних і режимних параметрів. Достовірність забезпечується застосуванням сучасних засобів вимірювань та використання методів статистичної обробки експериментальних даних.

**Практичне значення одержаних результатів.** Запропоновано нову вихрову установку і спосіб одержання зародка із зернових продуктів, які захищені патентами України № 22382 «Спосіб і установка одержання пшеничного зародка», № 24530 «Спосіб обробки харчової сировини та установка для його здійснення». Визначені раціональні параметри основних конструктивних вузлів вихрової установки. Доцільним є використання розробленої математичної моделі двофазного вихрового потоку з багатократним підведенням енергоносія для проектування і розробки циклонно-вихрових пристроїв та установок.

Розроблена технічна документація і виготовлені експериментальна та дослідна установки одержання пшеничного зародка. Установка і спосіб одержання зародка випробувані у виробничих умовах фірми Інституту екології людини «ІНЕКО» і впроваджені в Науково-виробничому об'єднанні «Екологічні технології та нормативи». Виконано дизайн – проробку дослідної установки. Її новизна захищена патентом України на промисловий зразок № 6743. Спосіб і досліdnий зразок установки прийнято комісією Міністерства освіти і науки України до серійного виробництва.

**Особистий внесок здобувача** полягає у проведенні аналітичних досліджень патентних і літературних джерел, постановці мети, завдань і методики досліджень, розробці математичної моделі вихрового потоку у вихровій циліндричній камері з n-кратним підведенням енергоносія, проведенні експериментальних досліджень процесів стадійної обробки зернових продуктів, встановленні режимних параметрів одержання зародка, що поліпшують якість, збільшують вихід високоякісного продукту та випробуваннях досліdnого зразка.

Загальний план роботи, програма досліджень, основні принципово нові ідеї обробки зернових продуктів з одержанням зародка, отримання подрібнених продуктів у вихрових камерах, розробка ресурсозберігаючих технологій і установок одержання тонкодисперсних систем, основні засади винаходів запропоновані і

виконані автором разом з науковим керівником д.т.н., с.н.с. Костенко Н.В.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати роботи доповідалися і обговорювалися на Міжнародних, Республіканських науково-технічних конференціях і семінарах: «Региональные проблемы энергосбережения в производстве и потреблении энергии», м. Київ, 1999 р.; «Проблемы промышленной теплотехники», м. Київ, 1999 р., 2001 р., 2003 р., 2005 р., 2007 р., «Актуальные вопросы теплофизики и физической гидрогазодинамики», м. Алушта, 2004 р., 2005 р., 2006 р., 2007 р., 2008 р.; «Проблеми енергозберігаючих технологій в АПК», м. Київ, 2006 р., «Вихревые и закрученные потоки: фундаментальные исследования и новые практические применения», м. Київ, 2007 р.; «Термодинамика вихревых и закрученных потоков и ее приложения», с. Соколівка, 2004 р., 2005 р. та наукових семінарах відділу ВТТГД ІТТФ НАНУ.

**Публікації.** За матеріалами дисертації опубліковано 19 робіт, з них 5 статей у фахових виданнях, перелік яких затверджено ВАК України, 7 тез наукових конференцій, 4 патенти України на винаходи.

**Структура дисертації.** Робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку із 191 бібліографічних джерел та додатків. Робота викладена на 141 сторінці машинописного тексту, містить 85 рисунків та 15 таблиць.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету і основні завдання досліджень, визначено наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів. Приведено відомості про особистий внесок автора, апробацію, опубліковані результати, структуру та обсяг роботи.

У **першому розділі** наведено теоретичні основи виробництва зернових продуктів та фактори, які впливають на ефективність процесів їх термовологісної обробки, обдирки, подрібнення та одержання зародка. Розглянуті відомі традиційні методи і технологічні схеми обробки зерна, одержання зародка, борошна, побічних продуктів переробки та вихрові технології.

Показана доцільність розроблення нових установок і способів одержання зародка із зернових продуктів у вихрових камерах, де забезпечується одержання високоякісного структурно незруйнованого зародка. Показані напрями інтенсифікації, поліпшення якості та збільшення виходу одержаного продукту, зменшення енерговитрат із використанням нових фізичних методів впливу – сил вихрового потоку на процеси обробки в харчових і переробних виробництвах. Аналіз сучасного стану проблеми став основою для вибору напрямку та завдань досліджень.

У **другому розділі** обґрунтований вибір напрямів теоретичних та експериментальних досліджень. Викладені методи досліджень, описано методику експериментальних досліджень та математичної обробки даних, наведено перелік обладнання та приладів для оцінки гранулометричного складу одержаних продуктів, визначення витрат енергоносія, матеріалу, пари, тиску, рівня шуму.

Надано опис створеного експериментального стенду для дослідження гідродинаміки вихрових камер, що включає: вихрову камеру з тангенційним підведенням енергоносія і осьовим відведенням готового продукту, пристрій подачі і уловлення матеріалу, прилади вимірювання та контролю. Стенд укомплектований

вимірювальним комплексом, який дозволяє вимірювати відносний тиск в двох точках в диференційному режимі і тиск в різних точках камери з візуалізацією параметрів, які використані при побудові полів тиску у вихрових камерах для оптимізації режимів їх роботи. Експериментальні дослідження гідродинаміки і процесів обробки зернових продуктів і одержання зародка проведені у вихровій установці, основною складовою частиною якої є вихрова камера (рис.1).

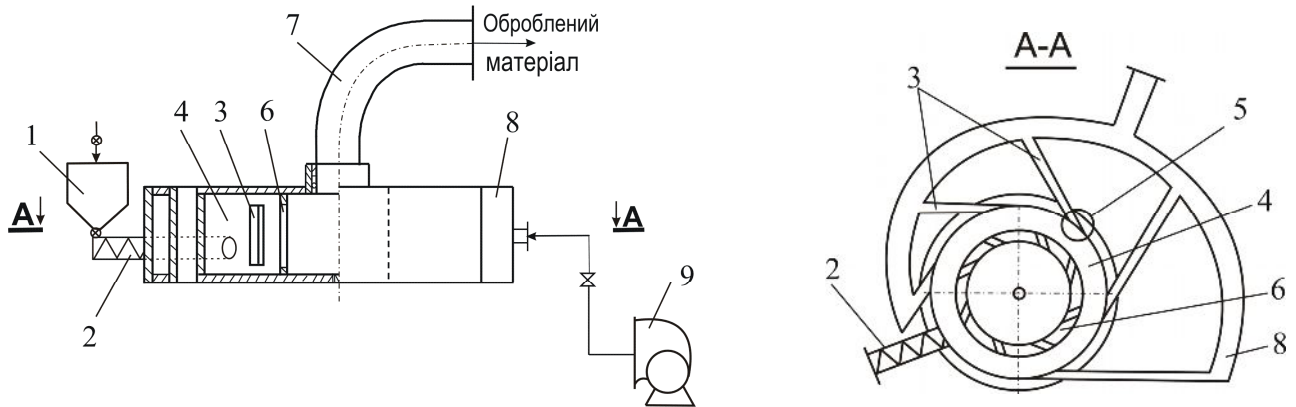


Рис.1. Схема вихрової камери: 1 – бункер; 2 – пристрій регульованої подачі; 3 – патрубки подачі енергоносія; 4 – криволінійний канал; 5 – профільовані елементи; 6 – перепона зі щілиноподібною перфорацією; 7 – патрубок відводу обробленого матеріалу; 8 – колектор; 9 – пристрій подачі енергоносія.

У третьому розділі описано математичну модель вихрового потоку у вихровій камері з  $n$ -кратним підведенням енергоносія, досліджено рух частинок різного розміру і приведені дослідження гідродинаміки вихрової камери і їх аналіз.

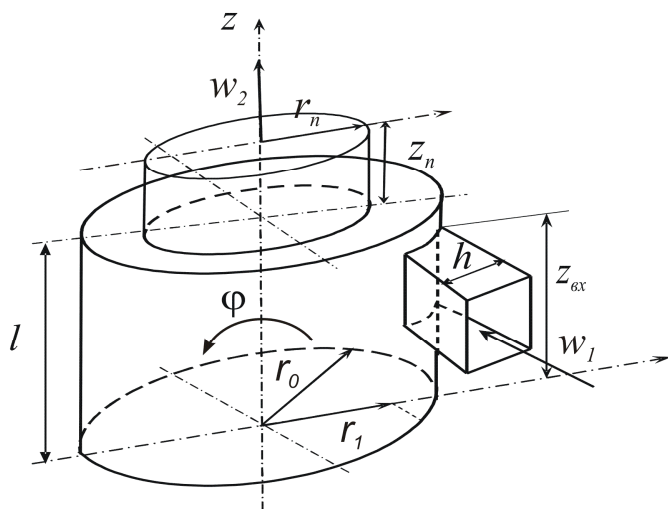


Рис. 2. Схема вихрової камери.

Розрахунки характеристик потоку у вихровій камері (рис.2) основані на уявленні про потік як обертальний полуобмежений струмінь, пограничний шар якого звернений до осі камери. Для опису тангенційної швидкості потоку прийнятий закон, що найбільш близький до реального:  $w_\varphi / w_{\varphi_m} = [2\eta / (1 + \eta^2)]^m$ , де  $m$  – формпараметр, що залежить від геометричних характеристик камери, режиму роботи, початкових умов генерації вихору та ін.,  $\eta = r / r_{\varphi_m}$ .

Безрозмірний радіус ядра потоку визначався як  $\eta_y = k_\eta k_{\varphi_m} \bar{d}_n^{-1}$ , де  $k_\eta = r_y / r_0$  – коефіцієнт довжини ядра потоку;  $k_{\varphi_m} = r_n / r_{\varphi_m}$  – коефіцієнт, який враховує зміщення ядра потоку в залежності від радіуса діафрагми;  $\bar{d}_n = 2r_n / 2r_0$  – відносний діаметр пережиму (рис.2). В роботі запропонована нова залежність для  $k_\eta$ :

$$k_\eta = 0,87 - 0,52 \cdot N^{-1} \bar{h}, \quad (2)$$

яка враховує кількість введів енергоносія ( $N$ ) і має добре узгодження з експериментальними даними (рис.3).

Також отримана залежність для коефіцієнта збереження швидкості  $\varepsilon_w$  на границі ядра потоку:

$$\varepsilon_w = -0,0001587 + 17,757 \cdot \bar{S} - 744,92 \cdot \bar{S}^2 + 148148,0 \cdot \bar{S}^3. \quad (3)$$

Пристінна зона розбивалась на дві зони: пограничний шар і зона струминної течії  $\delta_{стр}$ . Швидкість потоку у вихровій камері з кількома підведеннями енергоносія на ділянках струминної течії розраховувалась по  $\phi$  з шагом  $S_\phi = 2\pi/(N \cdot \bar{h} \cdot r_0)$  за формулою:

$$\bar{w} = \bar{w}_я + (g_{0^\circ} g_\phi \bar{w}_c - \bar{w}_я) (1 - 6 \cdot \bar{r}_{стр}^2 + 8 \cdot \bar{r}_{стр}^3 - 3 \cdot \bar{r}_{стр}^4), \quad (4)$$

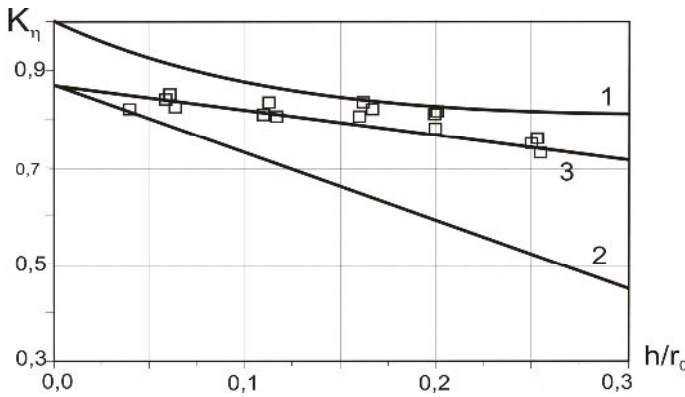


Рис.3. Залежність коефіцієнта довжини ядра потоку  $k_\eta$  від відносної висоти вхідних сопел: 1 –  $k_\eta = 0,8 + 0,2 \cdot e^{-10\bar{h}}$ ; 2 –  $k_\eta = 0,87 - 1,4N^{-1}\bar{h}$ ; 3 – формула (2);  $\square$  – експериментальні дані А.Н.Штима.

де  $\bar{r}_{стр} = (r_{стр} - r)/\delta_{стр}$ ,  $\bar{h}$  – висота підводів.

Для рішення кінетики та динаміки руху частинок у вихровій камері прийняті такі *допущення*: течія газу стаціонарна; частинки сферичної форми; на частинки діють сили аеродинамічного опору, відцентрова, Коріолісова, тяжіння, Архімеда, Магнуса і сила зумовлена градієнтом тиску. При визначенні сили Магнуса обертальний рух частинки розглядається відносно осі  $OZ$ .

Система рівнянь руху частинок в циліндричних координатах для закону опору  $\xi = 24/Re + 4/\sqrt[3]{Re}$  мала вигляд:

$$\frac{d\bar{v}_r}{d\tau} = \frac{\bar{v}_\phi^2}{\bar{r}} - N_1(\bar{v}_r - \bar{w}_r)s - \frac{1}{\rho_\phi} \frac{dp}{d\bar{r}} + \frac{3\pi}{4} \left( \frac{\delta}{2r_0} \right)^3 \rho_\phi \xi_\omega \omega (\bar{v}_\phi - \bar{w}_\phi) \sqrt{(\bar{w}_\phi - \bar{v}_\phi)^2 + (\bar{w}_r - \bar{v}_r)^2 + (\bar{w}_z - \bar{v}_z)^2},$$

$$\frac{d\bar{v}_\phi}{d\tau} = -\frac{\bar{v}_\phi \bar{v}_r}{\bar{r}} - N_1(\bar{v}_\phi - \bar{w}_\phi)s, \quad (5)$$

$$\frac{d\bar{v}_z}{d\tau} = -\frac{g}{r_0 w_1^2} + \frac{\rho}{r_0 w_1^2 \rho_\phi} g - N_1(\bar{v}_z - \bar{w}_z)s,$$

$$\text{де } s = \frac{6\nu}{\delta w_1^{2/3}} + \left( \frac{\nu}{\delta} \right)^{1/3} \left[ (\bar{v}_\phi - \bar{w}_\phi)^2 + (\bar{v}_r - \bar{w}_r)^2 + (\bar{v}_z - \bar{w}_z)^2 \right]^{1/3}; \quad N_1 = \frac{3}{\delta} \frac{\rho}{\rho_\phi} w_1^{-1/3} r_0,$$

$$\bar{w}_\phi = \frac{w_\phi}{w_1}, \bar{w}_r = \frac{w_r}{w_1}, \bar{w}_z = \frac{w_z}{w_1} - \text{відповідно безрозмірні тангенційна, радіальна і осьова}$$

швидкості потоку;  $w_1$  – початкова швидкість потоку.

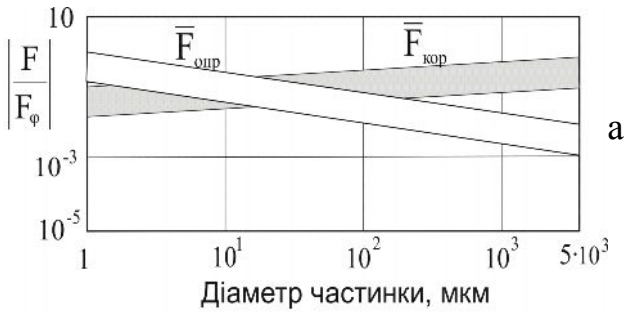
$$\text{Кінематичні співвідношення: } \bar{v}_r = d\bar{r}/d\tau; \quad \bar{v}_\phi = \bar{r}d\phi/d\tau; \quad \bar{v}_z = d\bar{z}/d\tau,$$

де  $\bar{r} = r/r_0$ ,  $\bar{z} = z/r_0$  – безрозмірні координати частинки;  $\tau$  – параметр інтегрування.

Для розв'язання системи рівнянь (5) використано метод Рунге–Кутта четвертого порядку точності. Програмна реалізація моделі руху частинок у вихровій камері виконана в середовищі Microsoft Developer Studio на Digital Visual Fortran 5.0.

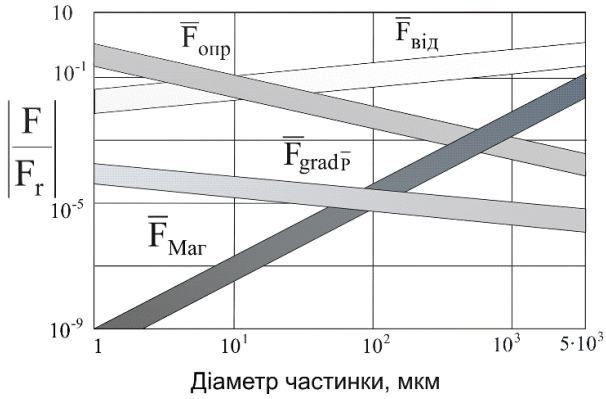
В результаті аналізу розрахунків були визначені сили, які чинять найбільший вплив на характер руху частинок у вихровій камері в діапазоні швидкості на вході 20...40 м/с. Це сили опору, тяжіння, відцентрова, Коріоліса і Магнуса. Вони мають однаковий порядок, але ступінь їх впливу залежать від розміру частинок матеріалу (рис.4).

Зміни радіальної  $v_r$  і тангенційної  $v_\phi$  швидкості частинок, як показав їх аналіз (рис.5), залежать від способу вводу частинок в камеру і їх розміру. При тангенційному

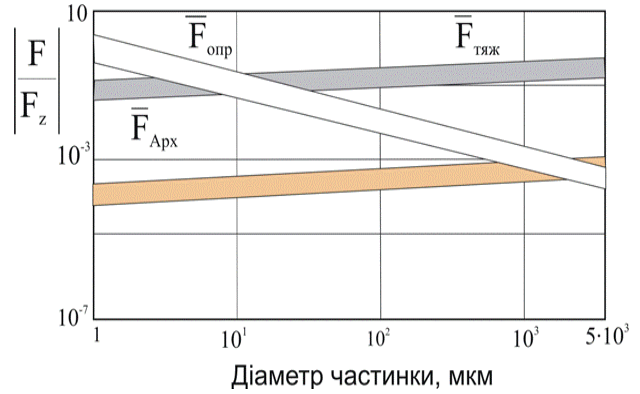


а

способі (рис.5 а) радіальна і тангенціальна швидкість зменшуються, а при радіальному – збільшується (рис.5 б). Після деякої кількості циклів всі складові швидкості виходять практично на однаковий рівень, тому радіальна подача частинок у вихрову камеру є більш доцільною.



б



в

Рис.4. Характер змін відносних значень складових повної сили від діаметра частинки: а – коловий напрямок ; б – радіальний напрямок; в – осьовий напрямок.

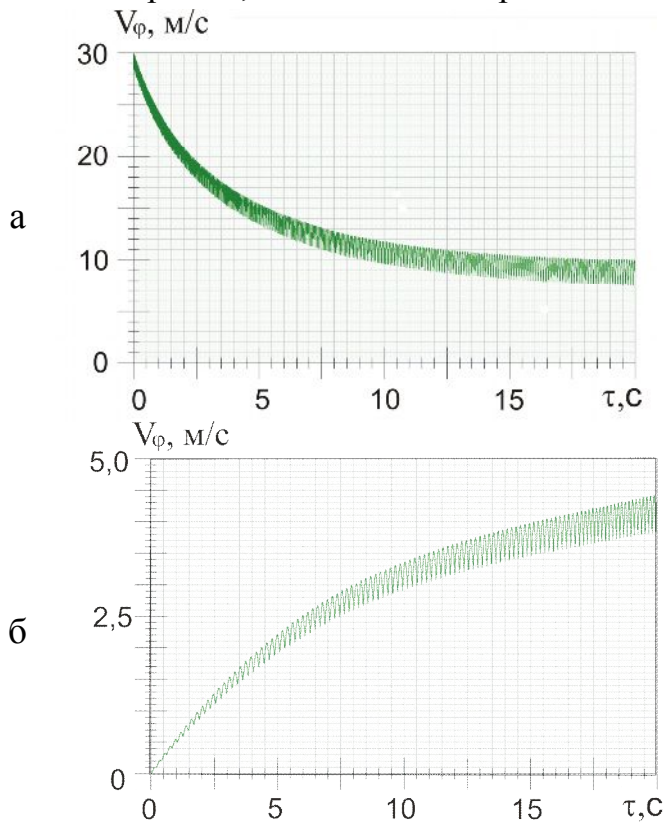
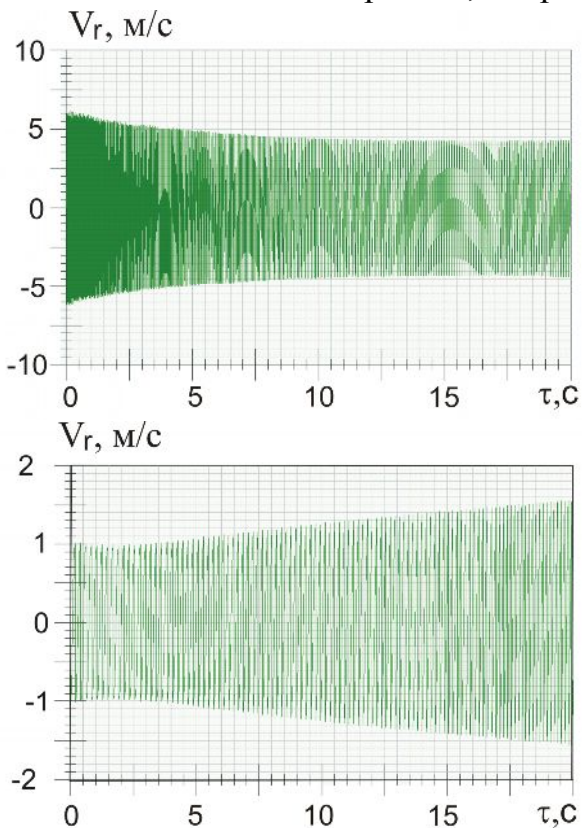


Рис.5. Розподіл радіальної  $v_r$  і тангенціальної  $v_\varphi$  швидкості частинки в камері при початкових умовах: а –  $v_\varphi = 30$  м/с,  $v_r = v_z = 0$ ; б –  $v_\varphi = 0$ ,  $v_r = -1,0$ ;  $v_z = 0$ .

Результати моделювання руху частинки у вихровій камері приведені на рис.6. Траєкторія руху частинок малого розміру наближується до ліній току. Крупні частинки відрізняються більш прямолінійною траєкторією руху. При радіальному підведенні частинки зерна у вихрову камеру кількість співударів і кінетична енергія частинки збільшується поступово і її величина дозволяє забезпечити необхідні

умови руйнування зерна для відділення зародка.

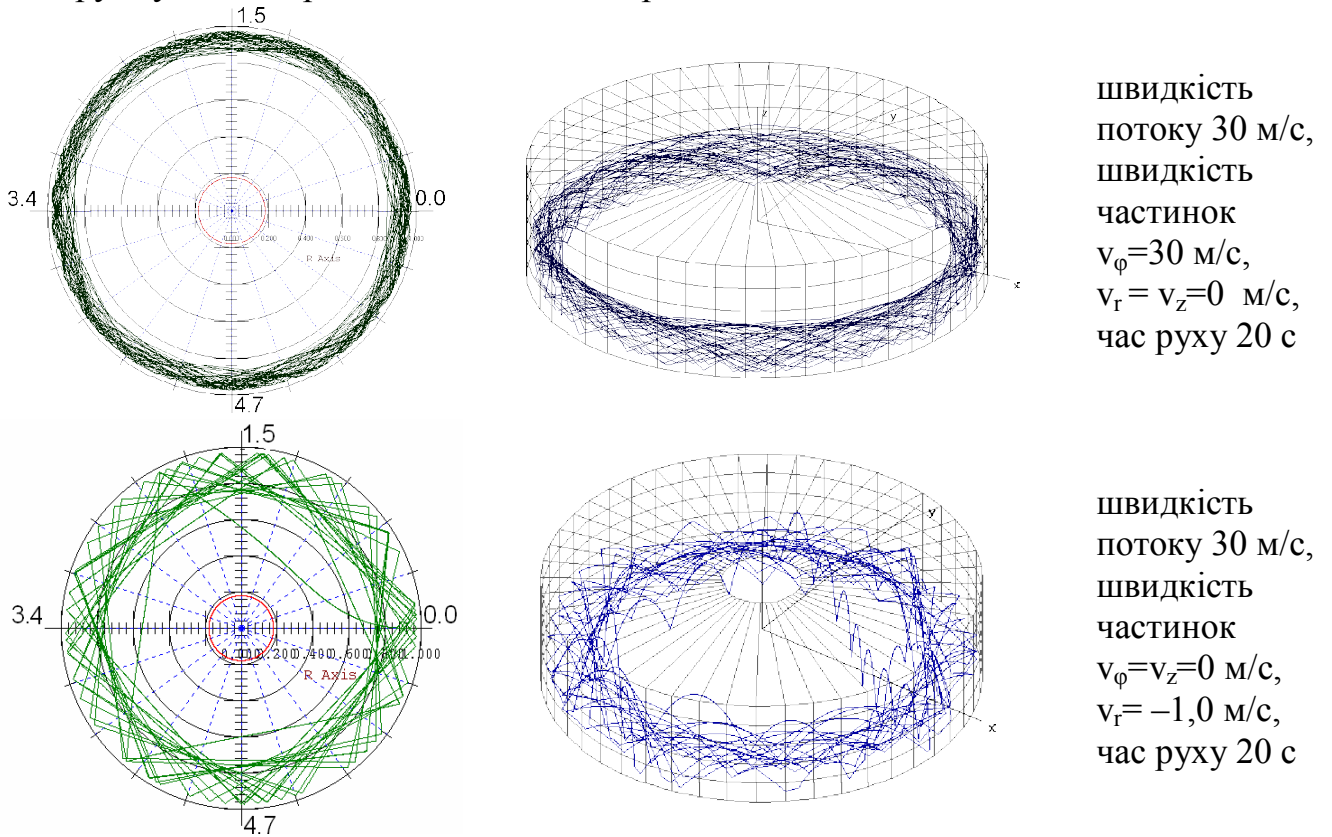


Рис.6. Траєкторія руху частинки діаметром 5 мм у вихровій камері.

Умовою руйнування частинки зерна від утомленості у вихровій камері є перевищення сумарної енергії деформації над енергією руйнування після  $N$  циклів навантаження

$$\sum_{i=1}^N (E_{\text{деф.}i} / E_{\text{руйн}}) = 1, \quad (6)$$

де  $E_{\text{деф.}\Sigma} = \int_0^{\tau_p} E_{\text{деф.}}(\tau) d\tau = \sum_{i=1}^N E_{\text{деф.}i}$  – сумарна енергія деформації частинки;

$E_{\text{деф.}i} = F_i^2 \delta / 2E_y S_k$  – енергія деформації частинки при  $i$ -му ударі;  $N$  – число ударів частинки;  $F_i$  – сила, що діє на частинку в момент зіткнення;  $\delta$  – розмір частинки;  $S_k$  – площа контакту, яка визначається експериментально;  $E_{\text{руйн}} = \sigma_p^2 V_{\text{ч}} / 2E_y$  – гранична енергія деформації, при якій відбувається руйнування;  $\sigma_p$  – критичне руйнівне напруження;  $V_{\text{ч}}$  – об'єм частинки;  $E_y$  – модуль пружності Юнга.

В процесі руху двофазного потоку з об'ємною концентрацією твердої фази  $\mu$  кількість частинок зерна у вихровій камері дорівнює  $n_{\text{ч}} = \frac{6\mu w_1 S_{\text{вх.}\Sigma}}{\pi \delta^3}$ , де  $w_1$  – швидкість потоку на вході,  $S_{\text{вх.}\Sigma}$  – сумарна площа входу потоку.

В результаті зіткнень частинок зерна між собою зростає число циклів навантаження в одиницю часу. Це приводить до збільшення кількості дефектів і відповідно до зростання енергії деформації. Кількості зіткнень від об'ємної концентрації твердої фази  $\mu$  в камері апроксимується залежністю:

$$N_b = \text{Int} \left[ 12688,1 \cdot e^{0,01365\tau} \ln \left( \frac{6\mu w_1 S_{\text{вх.}\Sigma}}{\pi \delta^3} \right) - 2699,95 e^{0,00713\tau} \right]. \quad (7)$$

Енергія деформації частинки зерна за інтервал часу  $\tau$  дорівнює:

$$E_{\text{деф.}\Sigma} = \sum_{i=1}^N E_{\text{деф.}i} + \sum_{i=1}^{N_b} E_{\text{деф.}y_i}, \quad (8)$$

де  $E_{\text{деф.}i}$  – енергія деформації при ударах зі стінками;  $E_{\text{деф.}y_i}$  – енергія деформації при  $i$ -м зіткненні частинки зерна з іншими частинками.

Залежність сумарної енергії деформації зерна, що знаходиться у вихровій камері, для початкових умов:  $\delta = 5\text{ мм}$ ;  $w_1 = 30\text{ м/с}$ ;  $S_{\text{вх.}\Sigma} = 0,00138\text{ м}^2$ ;  $v_\varphi = v_z = 0\text{ м/с}$ ;  $v_r = -1,0\text{ м/с}$ ;  $\mu = 0,0001$  представлена на рис. 7. Виконання умов руйнування (6) частинок зерна в камері з урахуванням їх співударів зі стінками камери і іншими частинками (8) дозволяє оцінити час їх руйнування в залежності від відносної об'ємної концентрації твердої фази (рис.8).

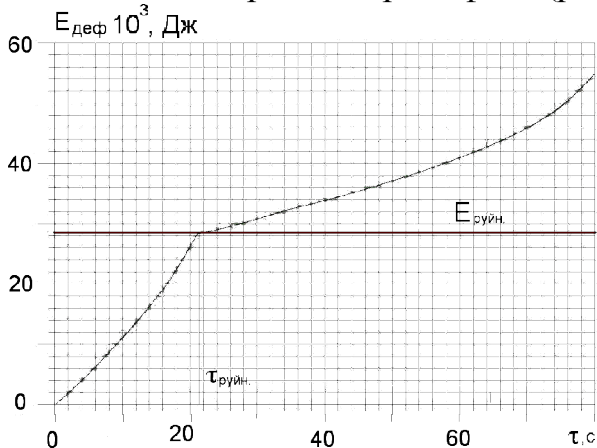


Рис.7. Енергія деформації частинки діаметром 5 мм від часу перебування при відносній об'ємній концентрації твердої фази  $\mu = 0,0001$ .

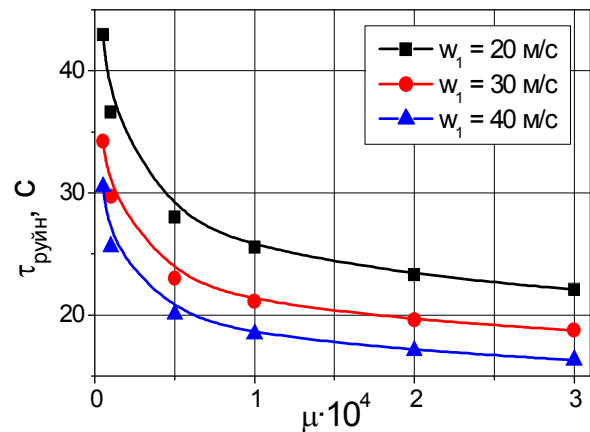


Рис.8. Залежність часу руйнування частинки розміром 5 мм від відносної об'ємної концентрації твердої фази  $\mu$ .

При прийнятих початкових умовах руйнування частинок зерна розміром 5 мм відбувається приблизно через 21 с після 97900 циклів навантаження (рис.7). Збільшення об'ємної концентрації  $\mu$  і швидкості повітря на вході в камеру (рис.8) зменшує час руйнування. При  $\mu$  менше 0,00005 час руйнування істотно збільшується.

Таким чином розроблена математична модель двофазного потоку у вихровій циліндричній камері з  $n$ -кратним підведенням енергоносія дозволяє визначити умови і час руйнування, оцінити вплив різних факторів на подрібнення матеріалів, отримати розрахункові залежності для визначення основних параметрів установки.

Якість відділення продуктів обдирки зерна в процесі його обробки забезпечується обґрунтованим вибором місця розташування перфорованої перепони – сепаратора, яке визначається зоною зниженого тиску. Для оцінки полів тиску і швидкості у вихровій камері була використана спрощена математична модель камери з використанням пакету прикладних програм «Phoenics v.3.5.1». На рис. 9 приведено розподіл тиску газового потоку, на рис.10 – розподіл швидкості газового потоку у вихровій камері. Як видно з рис. 9–10 величина тиску газового потоку в перерізі криволінійного каналу вихрової камери зменшується по мірі наближення до перфорованої перепони–сепаратора, а після проходження щілин тиск зменшується в 6...8 разів. В центральній частині камери спостерігається область максимального розрідження і мінімальної швидкості. Розрахунки показали, що для забезпечення умов відведення твердої фази розмір сепаратора повинен бути не менше 0,4 діаметра вихрової камери.

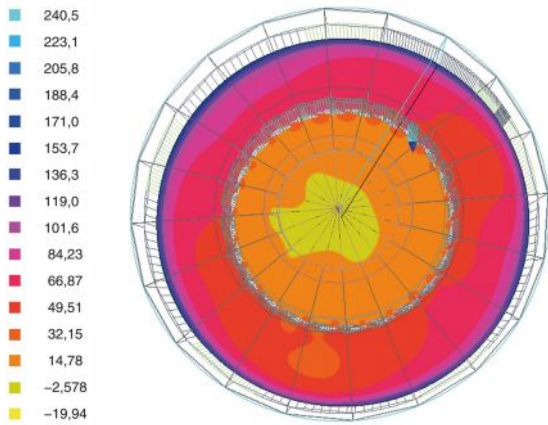


Рис.9. Розподіл тиску газового потоку у вихровій камері.

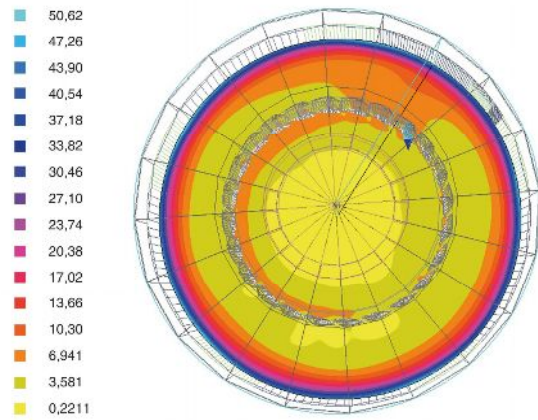


Рис.10. Розподіл швидкості газового потоку у вихровій камері.

Проведені експериментальні дослідження полів тиску у вихровій камері підтвердили одержані розрахунки і дозволили оптимізувати конструктивні та режимні параметри вихрових камер. Комплексні дослідження стали основою для вибору напряму створення вискоефективних принципово нової ресурсозберігаючої установки і технології одержання зародка.

У четвертому розділі наведені результати експериментальних досліджень технологічних процесів термообробки, обдирки, подрібнення зерна пшениці та одержання зародка у вихрових камерах з різними параметрами криволінійного каналу, перфорованих перепон–сепараторів, шершавістю, тиском, температурою і тривалістю термообробки зерна.

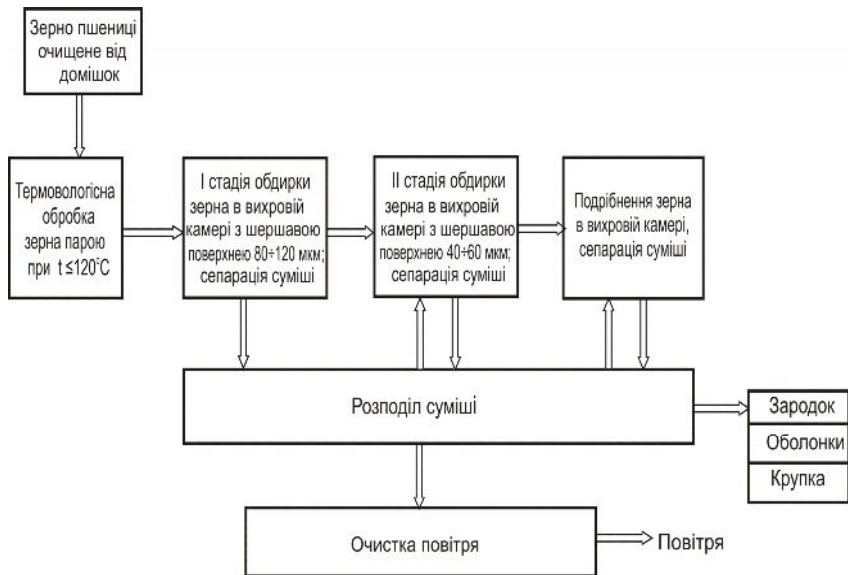


Рис. 11. Технологічна схема процесу обробки зерна.

Розроблена схема стадійної обробки зерна у вихрових камерах з розподілом продуктів на кожній стадії, їх відбором і виведенням в ємкості для подальшого використання, яка включає технологічні процеси термообробки, обдирки та подрібнення зерна пшениці з одержанням структурно незруйнованого зародка, тонкодисперсних оболонок і збагаченої крупки (рис.11).

Проведені дослідження обдирки у вихрових камерах ячменя, пшениці з термовологісною обробкою парою і визначенням режимних параметрів обдирки на створеному пристрої вихрового типу, згідно патенту України № 22382, з шершавою внутрішньою поверхнею. Результати досліджень показали, що при одностадійній обдирці досягається неповна очистка зерна, а тільки 87,9 %. Підтверджена можливість обдирки зернових продуктів у вихрових камерах та доцільність стадійної обдирки зерна в камерах з шершавістю до 120 мкм і обробкою зерна парою протягом 60...120 с.

На створеній експериментальній установці (рис.12) проведені дослідження

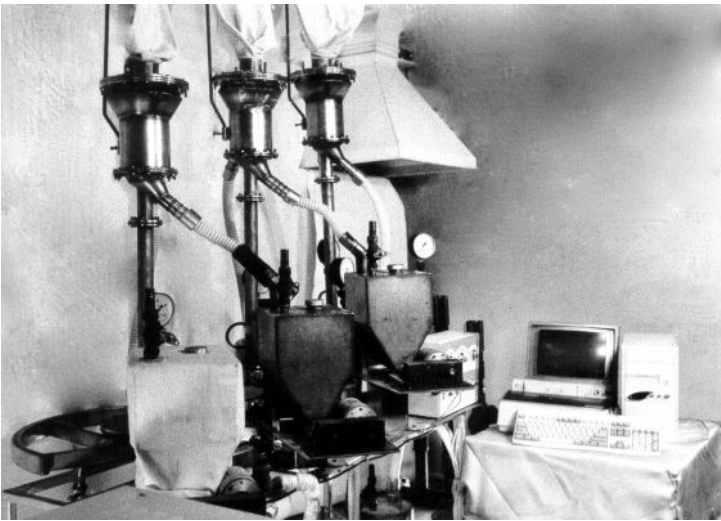


Рис.12. Загальний вид експериментальної вихрової установки одержання зародка.

ширину 1,03... 1,2 мм і товщину 0,51...0,6 мм, після подрібнення відрізняються від цілого в 1,3 рази по ширині, 1,2 по товщині і 2,4 по довжині. Результати досліджень окремих вихрових камер обдирки і подрібнення експериментальної установки одержання зародка при різних значеннях тиску і діаметрів сепараторів наведені на рис.13. Кількість матеріалу, що подавалась в камеру складала 0,09...0,1 кг/хв..

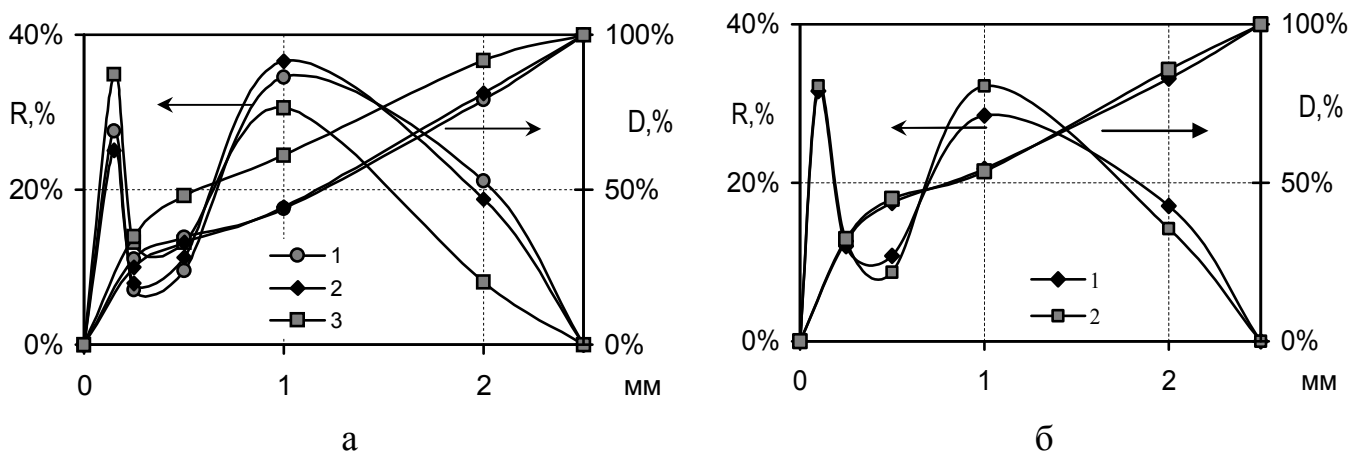


Рис.13. Диференційні (R,%) і інтегральні (D,%) криві розподілу обробленого матеріалу за розмірами при різних діаметрах сепаратора ( $d_c$ ) і тиску на вході ( $p_{вх}$ ) і в камері ( $p_k$ ): а – після камери обдирки: 1 –  $d_c = 100$  мм;  $p_{вх} = 0,055$  МПа;  $p_k = 0,039$  МПа; 2 –  $d_c = 100$ ;  $p_k = 0,06$ ;  $p_k = 0,043...0,048$ ; 3 –  $d_c = 120$ ;  $p_{вх} = 0,06$ ;  $p_k = 0,043...0,048$ ; б – після камери подрібнення,  $p_{вх} = 0,05$  МПа;  $p_k = 0,039...0,043$  МПа: 1 –  $d_c = 120$  мм; 2 –  $d_c = 140$ .

Аналіз досліджень обробленого матеріалу показав, що в камері обдирки оптимальними є ширина криволінійного каналу 50...60 мм, сепаратор діаметром 80...100 мм і тиск в камері до 0,08 МПа, а в камері подрібнення – ширина криволінійного каналу 30...40 мм, сепаратор діаметром 120...140 мм і тиск до 0,045 МПа. Зародок виділявся на кожній стадії обдирки зерна і при подрібненні.

Результати визначення режимів роботи окремих експериментальних камер використовувались при комплексному дослідженні процесу одержання зародка на експериментальній установці. Зерно пшениці подавалось на термовологісну обробку парою при температурі до 120°C протягом 30...120 с, при цьому оболонки і зерно відволожувались. Потім зерно направлялось на обдирку у вихрову камеру I-ї стадії

стадійної обробки зерна і одержання зародка при різних параметрах розмірів криволінійного каналу вихрових камер, перфорованих перепон – діаметрах сепараторів  $d_c = 80, 100, 120, 140$  мм, кількості щілин  $n = 8, 8, 12, 12$  шт., різних витратах сировини від 7 до 20 кг/год. і пари від 1 до 7 кг/год. та параметрах енергоносія – тиску і швидкості. Камери обдирки мали шершаві внутрішні поверхні, а камера подрібнення – гладку.

Геометричні розміри зародка, що має довжину 1,93...2,4 мм,

де під дією сил вихрового потоку забезпечувалась часткова обдирка зерна з одержанням продуктів обробки. Оброблене зерно, оболонки і зародок направлялись в пристрій розподілу, де вони сепарувались, розподілялись і відводились в окремі ємкості з отриманням окремо зародка (ємкість зародка №1). В розробленому пристрої розподілу та видалення оболонок, зародка та крупки використаний повітряний спосіб сепарації, який поєднує дію гравітаційних і відцентрових сил на частинки, що переносяться. Дослідження підтвердили розрахункові параметри розподільчого пристрою: радіуси і довжини зон розподілу, кути нахилу основних зон конструкції. Частково очищене зерно на першій стадії направлялось на другу стадію обдирки з отриманням зародка з II-ї стадії (ємкість зародка №2) та на подрібнення у вихрову камеру подрібнення. В цій камері зерно подрібнювалось до крупки з подальшим її виведенням в ємкість крупки та одержанням зародка (ємкість зародка №3). Результати досліджень представлені на рис.14.

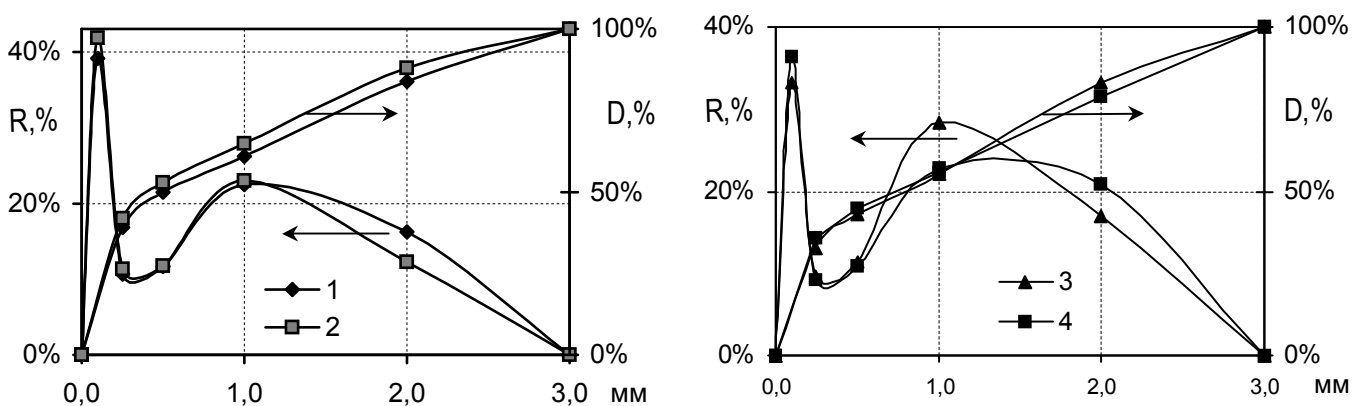


Рис.14. Диференційні (R,%) і інтегральні (D,%) криві розподілу обробленого матеріалу за розмірами: діаметр сепаратора камери обдирки I стадії 80 мм; другої – 100 мм; камери подрібнення – 140 мм; витрати пари  $G_{п} = 0,041$  кг/хв., тиск в камерах: 1 –  $p_1 = 0,059$  МПа;  $p_2 = 0,04$  МПа;  $p_3 = 0,023$  МПа; 2 – 0,064; 0,039; 0,026; 3 – 0,07; 0,03; 0,025; 4 – 0,071...0,073; 0,038...0,04; 0,025...0,027.

З підвищенням тиску у вихрових камерах до 0,075 МПа знижувався вміст дрібної фракції в середньому до 33% і підвищувався до 50% вміст фракції до 1,0 мм, в якій знаходиться більшість зародкомістких продуктів. Подальше підвищення тиску більше 0,1 МПа являлось критичним і зумовлювало підвищення вмісту дрібної фракції.

Аналіз результатів визначення режимів одержання зародка показав, що технологічні процеси у вихровій камері обдирки I-ї стадії найбільш сприятливі при наступних параметрах: тиску енергоносія  $p_{вх} = 0,08 \dots 0,085$  МПа, діаметрі сепаратора 80 мм, розмірі криволінійного каналу 60 мм; в камері обдирки II-ї стадії – при тиску  $p_{вх} = 0,05 \dots 0,06$  МПа, діаметрі сепаратора 100 мм, ширині каналу 50 мм; процеси подрібнення у вихровій камері подрібнення – при тиску  $p_{вх} = 0,035 \dots 0,04$  МПа, діаметрі сепаратора 140 мм, ширині каналу 30 мм.

Приймальні випробування дослідної установки, виготовленої та введеної в дію згідно акту приймання від 28.12.2000 р., підтвердили встановлені експериментальними дослідженнями режимні параметри одержання зародка. Результати випробувань наведені на рис.15. При стадійній обдирці зерна у вихрових камерах та наступному подрібненні зародок одержано на різних стадіях обробки, структурно незруйнованим і придатним для довгострокового зберігання. Продукти переробки

зерна одержано більш високої якості, очищені від пилу та оболонок. Отримані крупки збагачені за рахунок відділення, сепарування та видалення оболонок і зародка. Продуктивність по зерну до 20 кг/год. Витрати пари температурою до 120°C склали 2,5...3,3 кг/год. Зародок одержано різної величини в кількості до 2% чистотою зародкомістких продуктів 65...70% в залежності від якості зерна. Вигляд пшеничного зародка показаний на рис. 16.

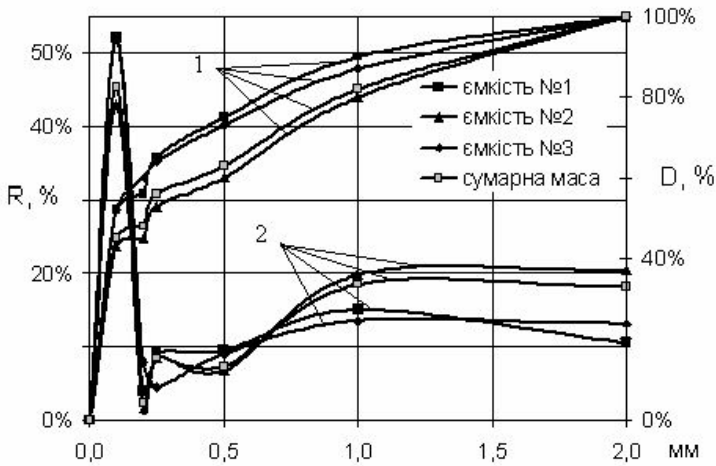


Рис.15. Криві розподілу обробленого матеріалу за розмірами: 1 – інтегральні (D,%); 2 – диференційні (R,%).



Рис.16. Вигляд пшеничного зародка.

Таким чином на основі комплексних теоретичних і експериментальних напрацювань розроблено і запропоновано принципово нову вихрову установку і спосіб обробки зернових продуктів у вихрових камерах з одержанням очищеної крупки і структурно незруйнованого біологічно активного зародка, новизна яких захищена патентами України № 2382, 24530. Схема установки одержання зародка із зернових продуктів приведена на рис.17.

Новим способом одержання біологічно повноцінного зародка передбачені наступні операції: гідротермічна обробка зерна парою температурою до 120°C протягом 90...120 с, двостадійна обдирка у вихрових камерах з шершавою поверхнею і подрібнення. Для камери першої стадії обдирки висота елементів шершавості складає 120 мкм, для камери другої стадії – до 60 мкм. Часткове відділення оболонок і зародка з їх розділенням і аспірацією проводиться на першій стадії, а на другій стадії – доочистка зерна по бороздці з сепаруванням і розподіленням оболонок, зародка і очищеного зерна. Подрібнення здійснюється у вихровій камері подрібнення з сепаруванням і збагаченням подрібнених продуктів. Зародок, отриманий в камері подрібнення, змішується з зародком, одержаним у вихрових камерах обдирки, і розділяється на дрібний для короткострокового і крупний для довгострокового зберігання. Відбір, сепарування і розподіл оболонок, крупки та зародка на стадіях обдирки та подрібнення дозволяють найбільш повно використовувати продукти переробки зерна: високоякісний структурно незруйнований біологічно активний зародок, який містить збалансований вітамінний, мікроелементний та мінеральний склад; збагачену крупку, придатну для подальшого зберігання і використання; тонкодисперсні оболонки для різного використання. Відбір і видалення продуктів переробки зерна дозволяє, в кінцевому результаті, підвищити якість зародка і борошна, яке одержують при подрібненні зі

збагаченої крупки, так як воно не містить жиру зародка, оболонок і пилу.

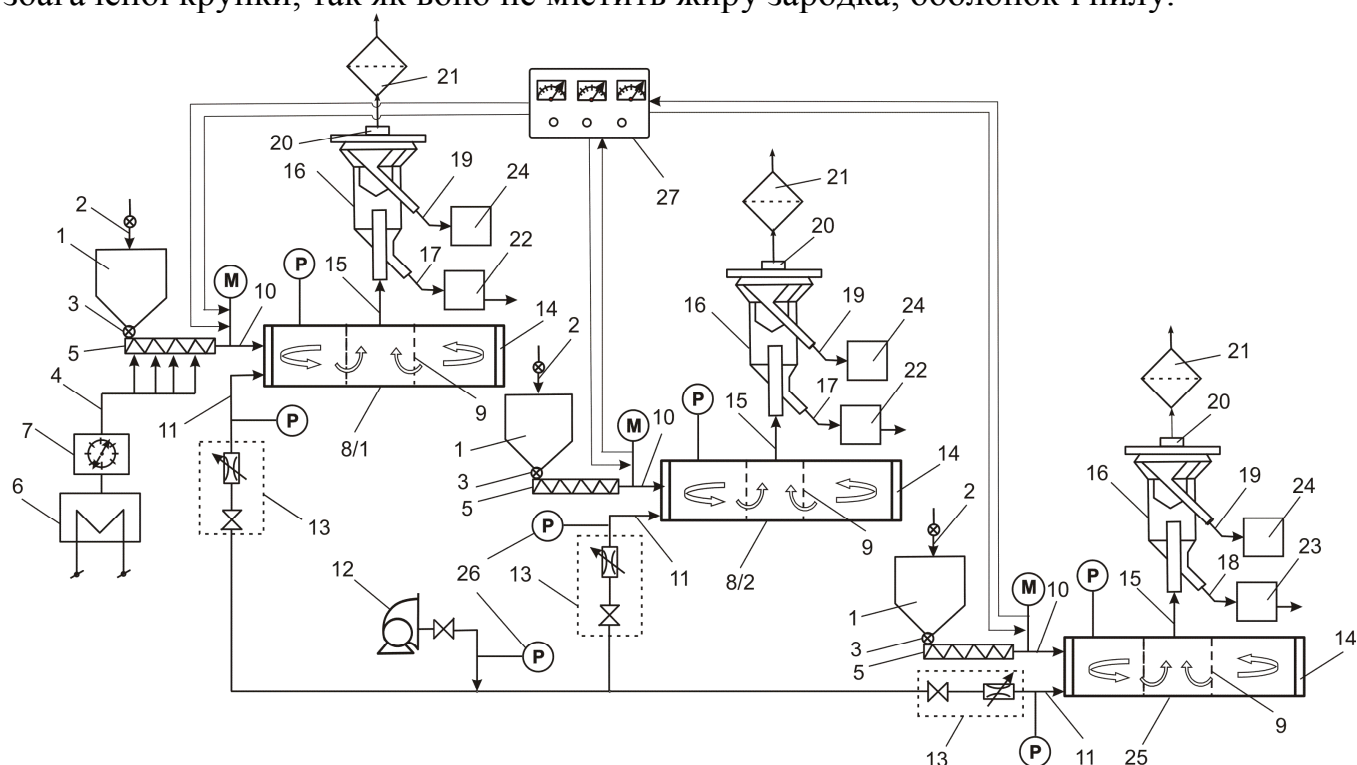


Рис. 17. Схема установки одержання зародка із зернових продуктів:

1 – бункер зерна; 2 – патрубок подачі зерна; 3 – шлюзовий затвор; 4 – патрубок подачі вологої пари; 5 – шнековий пристрій; 6 – джерело пари; 7 – регулятор; 8 – вихрові камери поетапної обдирки зерна; 9 – сепаратор; 10 – патрубок подачі зерна; 11 – патрубок подачі енергоносія; 12 – джерело енергоносія; 13 – пристрої грубого і тонкого регулювання; 14 – колектор; 15 – патрубок; 16 – розподільчий пристрій; патрубки: 17 – видалення зерна – 17; крупки – 18; зародка – 19; оболонок та пилу – 20; 21 – фільтр; ємкості зерна – 22; крупки – 23; зародка – 24; 25 – вихрова камера подрібнення; 26 – контрольно-вимірювальні прилади; 27 – пульт управління.

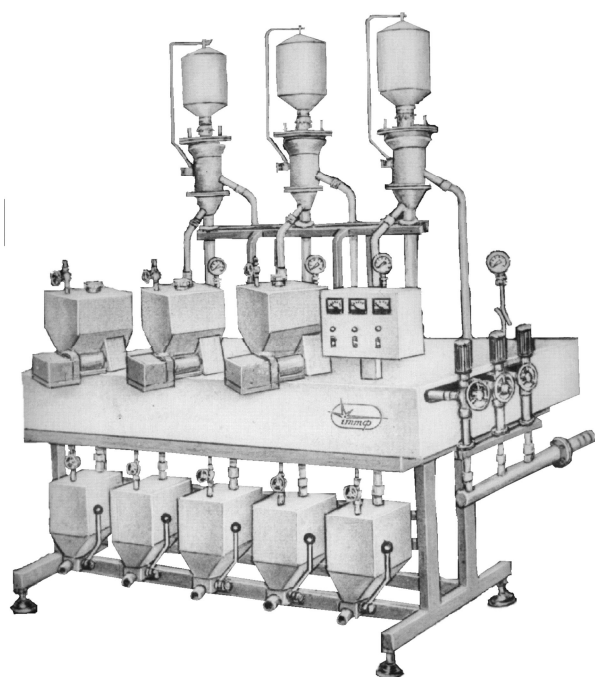


Рис. 18. Промисловий зразок установки одержання зародка.

Виготовлена дослідна установка і проведені дослідження технологічних процесів, запропонованого способу і технологічної схеми одержання зародка із зернових продуктів у вихрових камерах у виробничих умовах фірми Інституту екології людини «ІНЕКО» підтвердили перспективність створення і серійного виробництва установки одержання зародка. Її новизна захищена патентом України № 6743. Розроблена дизайн – проробка промислового зразка установки (рис.18).

Вихрова установка одержання зародка має ряд суттєвих переваг: установка і спосіб не потребують великого тиску і витрат енергоносія так як обдирка, відділення зародка та подрібнення зерна проводилось під тиском до 0,08 МПа; процеси обдирки та подрібнення зерна швидкодіючі тривалістю

до декількох хвилин; зародок отримано на різних стадіях обробки різної величини нероздавлений по структурі, більш повне його відділення та видалення сприяє підвищенню якості крупки та борошна, яке не містить жиру зародка; продукти переробки зерна отримані більш високої якості без намолу. Аспірація дозволяє одержувати їх більш чистими, очищеними від оболонки та пилу, без мікробіологічного забруднення. Отримані крупки збагачені за рахунок сепарування та видалення оболонки та зародка, придатні для довгострокового зберігання. Відділені оболонки також більш високої якості, так як вони більш подрібнені, не мають гострих кромки. Установа малогабаритна – довжиною 1050 мм, шириною 2200 мм, висотою 2900 мм. Концентрація пилу в повітрі згідно з ГОСТ 12.1.005 не перевищувала  $2 \text{ мг/м}^3$ , рівень звукового тиску загального фону не перевищував допустимого санітарними нормами СН 3223 – 85.

Установа і спосіб одержання зародка із зернових продуктів впроваджені в Науково–виробничому об'єднанні «Екологічні технології та нормативи». Вихрова установка одержання зародка прийнята до серійного виробництва.

Економічний, технічний і соціальний ефект від впровадження результатів полягає в одержанні структурно незруйнованого біологічно активного зародка зі збалансованим вітамінним, мікроелементним і мінеральним складом як біологічно активної добавки для профілактичного, дієтичного і лікувального харчування. *Сферою застосування, потенційними об'єктами впровадження є переробна, харчова, медична, парфумерна промисловості, малі та фермерські господарства при переробці зерна для виготовлення борошняних продуктів в регіонах вирощування сировини, споживання готової продукції та зародка.*

## ВИСНОВКИ

1. Аналіз сучасного стану обробки зернових продуктів, основних тенденцій розвитку технологій і установок показав, що старі технології і установки енергозатратні і не дозволяють вилучати із зерна його найбільш цінні компоненти – біологічно активний зародок, що містить збалансований вітамінний, мікроелементний і мінеральний склад.
2. Актуальність розроблення вихрової установки і способу одержання зародка зумовлюється тим, що підвищення кількісних показників виходу зародка і його якості зі значним зменшенням енергетичних витрат доцільне шляхом використання нових технологічних прийомів з перевагами вихрових технологій, які характеризуються сильним вихровим полем, можливістю реалізації різних схем підведення і відведення продуктів і енергоносія з інтенсифікацією теплотехнологічних процесів.
3. На основі вивчення існуючих моделей розроблено математичну модель двофазного потоку у вихровій циліндричній камері з  $n$ -кратним підведенням енергоносія, яка дозволяє визначити умови навантаження і час руйнування, оцінити ступінь впливу визначальних факторів на подрібнення матеріалів, отримати розрахункові залежності для визначення основних параметрів установки.
4. Аналіз і оцінка сил, що діють на частинки при їх русі в газовому потоці в апаратах вихрового типу, показали, що основними силами є сили опору, тяжіння, відцентрова, Кориоліса і Магнуса, які мають однаковий порядок, але ступінь їх

впливу залежить від розміру частинок.

5. Дослідженнями на створених експериментальному стенді і установці встановлено вплив визначальних факторів на процеси обробки:  $n$ -кратного підведення енергоносія – оптимальне 4...6; різної шершавості поверхонь – камери I-ї стадії обдирки висота елементів шершавості 80...120 мкм, II-ї стадії обдирки – 40...60 мкм; геометричних характеристик перфорованих перепон – камери обдирки I-ї стадії діаметр 80 мм, II-ї стадії – 100 мм, камери подрібнення – 140 мм; визначено розмір (ширину) криволінійних каналів – I-ї стадії обдирки 60 мм, II-ї стадії 50 мм і камери подрібнення 30 мм.

6. Розроблено принципово нові енергозберігаючі вихрову установку і спосіб одержання зародка із зернових продуктів зі швидкодіючими процесами, в яких технологічні процеси обробки зерна інтенсифіковані за допомогою нових фізичних методів впливу – сил вихрового потоку, що дозволило підвищити якість і збільшити відбір цінних компонентів – структурно незруйнованого зародка в кількості до 2 % чистотою 65...70% зародкомістких продуктів, збагаченої крупки і тонкодисперсних оболонок зі зменшеними енерговитратами.

7. Дослідженнями встановлені режимні параметри одержання зародка з поєднанням короткочасної пропарки гарячою парою з обробкою на шершавих поверхнях вихрових камер, які показали, що при обробці зерна парою температурою до 120°C протягом від 90 до 120 с і стадійними обробкою та подрібненням у вихрових камерах при невеликих енерговитратах під тиском від 0,03 до 0,08 МПа одержано структурно незруйнований біологічно активний зародок з сепарацією та розподілом продуктів обробки з високою швидкодією технологічних процесів (до 2 хв.).

8. Розроблено і виготовлено дослідну установку одержання зародка із зернових продуктів згідно ТЗ та конструкторській документації. Проведено дослідження та випробування створеної вихрової установки одержання зародка із зернових продуктів, які показали ефективність установки і способу одержання зародка високої якості згідно технологічної схеми термообробки, обдирки та подрібнення зерна. Установка прийнята до серійного виробництва. Новизна розробок захищена патентами України № 22382 А, 24530 А, 6743.

#### **Основні наукові положення дисертації викладено в роботах:**

1. Костенко Н.В., Шихабутинова О.В. Энергосберегающая технология и установка получения зародышей из зерновых продуктов // Промышленная теплотехника.– 2003. – Т.25, № 4 – С. 73-75. Особистий внесок: участь в обґрунтуванні технології одержання нероздавленого зародка, експериментальних дослідженнях і випробуваннях установки, обробка результатів досліджень, підготовка матеріалів до публікації.

2. Халатов А.А., Костенко Н.В., Шихабутинова О.В. Особенности течения вихревых потоков в криволинейных каналах переменных параметров с многократным вдувом // Промышленная теплотехника.– 2004. – Т.26, № 4 – С. 13–18. Особистий внесок: експериментальні дослідження, обробка результатів досліджень, підготовка матеріалів до публікації.

3. Костенко Н.В., Шихабутинова О.В. Не розплющені зародки, збагачені крупи і якісне борошно// Зерно і хліб. – 2003. – № 3. – С. 40–41. Особистий внесок: участь в

обґрунтуванні технології, конструкції установки одержання зародка, експериментальних дослідженнях, підготовка матеріалів до публікації.

4. Костенко Н.В., Шіхабутінова О.В. Новітня вихрова теплотехнологія одержання зародка із зернових продуктів // Електротехніка. Механіка. – 2006. – № 1. – С.113. Особистий внесок: участь в обґрунтуванні технології одержання зародка, експериментальні дослідження, узагальнення результатів, підготовка матеріалів до публікації.

5. Костенко Н.В., Шіхабутінова О.В. І пшеничні зародки і крупку // Зерно і хліб. – 1999.-№ 4. – С. 24 – 25. Особистий внесок: аналіз літературних джерел і технологій одержання зародка, підготовка матеріалів до публікації.

6. Пат. № 24530 А України, МКИ В 02В 3/00, В 07 В 4/00. Спосіб обробки харчової сировини та установка для його здійснення / Н.В. Костенко, Е.М Хусточка, О.В. Шіхабутінова – № 97052460; Заявл. 28.05.97; Опубл. 21.07.98, Бюл. № 5, 1998. – 3 с. Особистий внесок: проведення патентного пошуку, участь в обговоренні ідеї, експериментальні дослідження, результати яких покладені в основу винаходу, підготовка матеріалів до подання заявки.

7. Пат. № 22382 А України, МКИ В 02В 3/00, В. Спосіб і установка одержання пшеничного зародка / Н.В. Костенко, Ю.Л. Забулонов, О.В. Шіхабутінова – № 97052213; Заявл. 14.05.97; Опубл. 03.03.98, Бюл. № 3 – 7 с. Особистий внесок: проведення патентного пошуку, участь в обговоренні ідеї, дослідження і випробування установки.

8. Пат. України на промисловий зразок № 6743, МКИ 15-03; 31-99. Установка одержання пшеничного зародка / Н.В. Костенко, О.В. Шіхабутінова, В.Ф. Стрихар – № 2002050673; Заявл. 29.05.2002; Опубл. 16.12.2002, Бюл. № 12. – 3 с.:іл.. Особистий внесок: участь в обговоренні ідеї та конструкції промислового зразка, підготовка матеріалів до подання заявки.

9. Декл. пат. № 70543 А України, МКИ В 02 С 19/06, В 07 В 4/00, 7/04. Спосіб і пристрій вихрового диспергування і аеромеханічного розподілу зернистих матеріалів / Н.В. Костенко, О.В. Шіхабутінова – № 20031211085 Заявл. 05.12.2003; Опубл.15.10.2004, Бюл. № 10. – 4 с. Особистий внесок: проведення патентного пошуку, участь в обговоренні ідеї та конструкції, підготовка матеріалів до подання.

10. Костенко Н.В., Шіхабутінова О.В. Дослідження впливу різних факторів на газовий потік на вигнутій поверхні вихрової камери / Ін-т технічної теплофізики НАНУ. – Київ, 2002. – 30с. – Укр. – Деп. в ДНТБ України 22.07.02, № 115 – Ук2002. – Реф. в: РЖ «Депоновані наукові роботи». – 2002. – № 1–2. Особистий внесок: аналітичні та експериментальні дослідження, обробка результатів, підготовка матеріалів до публікації.

11. Костенко Н.В., Шіхабутинова О.В. Исследование тепломассопереноса в криволинейных каналах акустических вихревых камер и создание методик и расчетов / Ин-т техн. теплофизики НАН Украины. – Киев, 2003. – 56 с.; ил., - Библиогр.: 50 назв. – Рус. – Деп. в ГНТБ Украины, 3.01.03., № 17 – Ук2003. – Реф. в: РЖ «Депоновані наукові роботи». – 2003. – № 2–3. Особистий внесок: аналітичні та експериментальні дослідження, обробка результатів, участь в розробці методик розрахунків, підготовка матеріалів до публікації.

12. Костенко Н.В., Шіхабутинова О.В. Исследование тепломассопереноса в криволинейных каналах акустических вихревых камер // Промышленная

теплотехника (приложение к журналу). – 2003. – Т.25, № 4 – С. 140–141. Особистий внесок: участь в експериментальних дослідженнях, узагальнення результатів досліджень, підготовка матеріалів до публікації.

13. Костенко Н.В., Шихабутінова О.В. Энергосберегающая технология получения тонкодисперсных материалов // Тр. Междунар. конф. «Региональные проблемы энергосбережения в производстве и потреблении энергии». – Киев, 1999. – С. 114–115. Особистий внесок: експериментальні дослідження, аналіз та систематизація отриманих результатів, підготовка матеріалів до публікації.

14. Костенко Н.В., Шихабутінова О.В. Высокоэффективные энерго–ресурсосберегающие технологии и устройства получения пищевых продуктов высокой биологической ценности на основе растительного сырья // Тр. Междунар. конф. «Актуальные вопросы теплофизики и физической гидрогазодинамики». – г. Алушта, 2007. – С.104–107. Особистий внесок: експериментальні дослідження, аналіз та систематизація отриманих результатів, підготовка матеріалів до публікації.

15. Костенко Н.В., Северин С.Д., Шихабутінова О.В. Численное моделирование движения дисперсных частиц в вихревых камерах // Тр. Междунар. конф. «Актуальные вопросы теплофизики и физической гидрогазодинамики». – г. Алушта, 2007. – С.108–113. Особистий внесок: розробка математичної моделі, проведення розрахунків, підготовка матеріалів до публікації.

16. Костенко Н.В., Северин С.Д., Шихабутінова О.В. Моделирование движения дисперсных частиц в камерах циклонно – вихревого типа // Тр. Междунар. конф. «Вихревые и закрученные потоки: фундаментальные исследования и новые практические применения». – г. Киев, 2007. – С.77–79. Особистий внесок: проведення розрахунків, узагальнення результатів, підготовка матеріалів до публікації.

17. Костенко Н.В., Шихабутінова О.В. Особенности движения потоков в поле действия центробежных сил вихревых камер // Тр. Междунар. конф. «Актуальные вопросы теплофизики и физической гидрогазодинамики». – г. Алушта, 2006. – С.76–77. Особистий внесок: участь в експериментальних дослідженнях, обробка результатів.

18. Костенко Н.В., Шихабутінова О.В. Влияние параметров вихревых камер на гидродинамические процессы // Тр. Междунар. конф. «Актуальные вопросы теплофизики и физической гидрогазодинамики». – г. Алушта, 2005. – С.81–83. Особистий внесок: експериментальних дослідження, обробка і узагальнення результатів досліджень.

19. Костенко Н.В., Шихабутінова О.В. Исследование влияния факторов на течение турбулентного потока // Тр. Междунар. конф. «Актуальные вопросы теплофизики и физической гидрогазодинамики». – г. Алушта, 2004. – С.107–108. Особистий внесок: участь в експериментальних дослідженнях, обробка результатів.

## АНОТАЦІЯ

**Шихабутінова О.В. Створення вихрової установки і способу одержання зародка із зернових продуктів. – Рукопис.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.18.12 – Процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв. – Національний університет харчових технологій Міністерства освіти і науки України, Київ, 2009.

Дисертація присвячена створенню вихрової ресурсозберігаючої установки і способу одержання структурно незруйнованого зародка із зернових продуктів на основі комплексних досліджень гідродинаміки потоків в криволінійних каналах вихрових камер, визначенню режимних параметрів одержання зародка з поліпшенням якості та збільшенням виходу продукту зі зменшенням енерговитрат.

Запропоновано математична модель двофазного вихрового потоку в циліндричній вихровій камері з  $n$ -кратним підведенням енергоносія і врахуванням режимних та конструктивних параметрів камери та визначення ряду емпіричних залежностей для ряду коефіцієнтів.

Вперше визначено вплив визначальних факторів на процеси обробки:  $n$ -кратного підведення енергоносія, шершавості поверхонь, геометричних характеристик перфорованих перепон, межі відцентрової нестійкості і зміни визначальних факторів. Теоретично і експериментально встановлені режимні параметри одержання зародка у вихровій установці з поєднанням короткочасної пропарки гарячою парою з наступною обробкою у вихровому потоці. Доведено ефективність способу стадійної обробки зернових продуктів у вихрових камерах з шершавими поверхнями та їх подрібнення під дією сил вихрового потоку.

Обґрунтовані і реалізовані засади для створення ефективної вихрової установки і способу одержання високоякісного структурно незруйнованого зародка.

Визначено раціональні режимні і геометричні параметри вихрових камер, що забезпечують необхідну якість отримання продуктів обробки і продуктивність установки. Виготовлена дослідна установка одержання пшеничного зародка і проведені її випробування у виробничих умовах. Установка прийнята до серійного виробництва.

**Ключові слова:** математична модель, вихрова, установка, спосіб, одержання, зародок, обробка, зернові.

## АННОТАЦІЯ

**Шихабутинова О.В. Создание вихревой установки и способа получения зародыша из зерновых продуктов. – Рукопись.**

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.18.12 – Процессы и аппараты пищевых, микробиологических и фармацевтических производств. – Национальный университет пищевых технологий Министерства образования и науки Украины, Киев, 2009.

Диссертация посвящена созданию вихревой ресурсосберегающих установки и способа получения структурно неразрушенного зародыша из зерновых продуктов на основе комплексных исследований гидродинамики потоков в криволинейных каналах вихревых камер, определению режимных параметров получения зародыша с улучшением качества и увеличением выхода продукта с уменьшением энергозатрат.

В работе разработана математическая модель двухфазного вихревого потока в цилиндрической вихревой камере с  $n$ -кратным подводом энергоносителя, которая учитывает начальные условия генерации вихря, режимные и конструктивные особенности вихревых камер. Математическая модель движения газового потока была дополнена наличием области пристеночного струйного течения и

пограничного слоя. Она позволяет рассчитывать гидродинамические характеристики потока в вихревой камере и траектории движения частиц в зависимости способа ввода и вывода частиц материала из вихревой камеры, определить условия нагрузки и время разрушения частиц зерна с учетом относительной объемной концентрации твердой фазы, оценить степень влияния определяющих факторов на измельчение материалов и установить расчетные зависимости для определения основные параметры вихревой установки.

В работе получены эмпирические зависимости для ряда коэффициентов, определяющих профиль тангенциальной скорости, длину ядра потока и сохранения скорости на границе ядра потока. Сделанный анализ сил, действующих на частицы при их движении в газовом потоке в аппаратах вихревого типа показал, что основными силами, которые необходимо учитывать при расчетах гидродинамики циклонно-вихревых устройств, являются силы сопротивления, тяжести, центробежная, Кориолиса и Магнуса. Они имеют одинаковый порядок, но степень их влияния зависит от размера частиц.

На созданных экспериментальном стенде и установках исследованы гидродинамические процессы в криволинейных каналах переменных параметров вихревых камер с разной шероховатостью их поверхности, перфорированными преградами и  $n$ -кратным подводом энергоносителя. Исследованиями установлено влияние определяющих факторов на процессы обработки зерна:  $n$ -кратного подвода энергоносителя – 4...6; разной шероховатости поверхности камеры – на I-ой стадии обдирки высота элементов шероховатости составляет 80...120 мкм, на II-ой стадии обдирки – 40...60 мкм; геометрических характеристик перфорированных преград – камеры обдирки I-ой стадии диаметр 80 мм, II-ой стадии – 100 мм, камеры измельчения – 140 мм; определены размеры криволинейных каналов – I-ой стадии обдирки 60 мм, II-ой стадии 50 мм и камеры измельчения 30 мм.

Определено влияние термовлажностной обработки зерна на процессы обдирки и измельчения в вихревых камерах, установлены условия сепарации, разделения и распределения полученной смеси продуктов обработки зерна. Экспериментально установлены режимные параметры получения зародыша в вихревой установке с соединением кратковременной пропарки горячим паром и обработки на шершавых поверхностях вихревых камер. Исследования показали, что при обработке зерна паром с температурой до 120°C в течение 90...120 с и стадийными обработкой и измельчением в вихревых камерах при небольших энергозатратах под давлением от 0,03 до 0,08 МПа с сепарацией и распределением продуктов обработки получен структурно неразрушенный биологически активный зародыш с высоким быстродействием технологических процессов (до 2 мин.). Доказана эффективность способа стадийной обработки зерновых продуктов в вихревых камерах с шероховатыми поверхностями и их измельчение под действием сил вихревого потока, что позволило повысить качество и увеличить выход ценных компонентов – структурно неразрушенного зародыша в количестве до 2 % чистотой 60...70 % зародышесодержащих продуктов, обогащенной крупки и тонкодисперсных оболочек с уменьшением энергозатрат.

Обоснованы и реализованы основы для создания эффективных вихревой установки и способа получения высококачественного структурно неразрушенного зародыша. Разработана и изготовлена опытная установка получения зародыша из

зерновых продуктов согласно ТЗ и конструкторской документации. Проведено исследование и испытание созданной вихревой установки получения зародыша из зерновых продуктов, которые показали эффективность установки и способа получения зародыша высокого качества согласно технологической схемы термообработки, обдирки и измельчения зерна. Установка принята к серийному производству. Новизна разработок защищена патентами Украины № 22382 А, 24530 А, 6743.

**Ключевые слова:** математическая модель, вихревая, установка, способ, получение, зародыш, обработка, зерновые.

## ANNOTATION

**Shikhabutinova O.V. Development of the vortex installation and method for obtaining of the embryo from the grain products. - Manuscript.**

The dissertation on the receipt of the scientific degree of Candidate in Engineering Sciences in specialty 05.18.12 - Processes and the equipment of food, microbiological and pharmaceutical productions. - National University of Food Technologies of Ukraine Ministry of Education and Science, Kiev, 2009.

The dissertation is dedicated for development of the vortex resource-saving installation and for method to obtain structurally non-destroyed embryo from the grain products on the basis of comprehensive studies in hydrodynamics of flows in the curvilinear channels of vortex chambers as well as for determination of the regime parameters for obtaining the embryo with the improved quality and an increase in output of product with the reduced power expenditure.

The mathematical model of two-phase vortex flow in the cylindrical vortex chamber with the  $n$ - multiple supply of energy carrier has been proposed. The model accounts for operation and structural parameters of the chamber and defines specified empirical dependences for the number of coefficients.

For the first time it has been determined the influence of the key factors on processes of treatment: the  $n$ - multiple supply of energy carrier, roughness of surfaces, geometrical characteristics of the perforated obstacles, boundaries of centrifugal instability and changes in the key factors. Operating parameters have been defined in theoretical and experimental ways to obtain the embryo in the vortex installation combining the methods of shelling with the short-term steaming by the hot vapor with the subsequent treatment in the vortex flow. The effectiveness of the method of the stage-wise shelling of grain products in the vortex chamber with the rough surfaces and their grindings under the forces in the vortex flow has been proved.

The basis for developing of the effective vortex installation and method for obtaining of the high-quality structurally non-destroyed embryo has been grounded and realized.

The rational operating and geometric parameters of the vortex chamber, which ensure the necessary quality for obtaining of the treatment products and productivity of the installation, has been determined. The preproduction installation for obtaining of wheat embryo has been made, and its testing under the operating conditions has been conducted. The installation is accepted for the serial production.

**Key words:** the mathematical model, vortex, installation, method, obtaining, embryo, processing, grains.