

ШЕВЧЕНКО ПАВЛО ІВАНОВИЧ

УДК: 664.762

**УДОСКОНАЛЕННЯ РЕЖИМІВ ТА БУДОВИ ЛУЩИЛЬНИХ
МАШИН ДЛЯ АГРЕГАТНИХ УСТАНОВОК ПО ВИГОТОВЛЕННЮ
КРУПІВ**

Спеціальність 05.18.12 - процеси та обладнання харчових,
мікробіологічних та фармацевтичних виробництв

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Одеса – 2006

Дисертацією є рукопис.

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

Науковий керівник – доктор технічних наук, професор
Гапонюк Олег Іванович,
Одеська національна академія харчових технологій,
завідувач кафедри технологічного обладнання зернових
виробництв

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Гладушняк Олександр Карпович,
Одеська національна академія харчових технологій,
завідувач кафедри технологічного обладнання харчових
виробництв

кандидат технічних наук, доцент
Бандура Валентина Миколаївна,
Вінницький державний аграрний університет,
доцент кафедри автоматизації і комплексної механізації
технологічних процесів

Провідна установа – Донецький державний університет економіки і торгівлі,
кафедра обладнання харчових виробництв,
Міністерство освіти і науки України, м. Донецьк

Захист відбудеться “7” липня 2006 р. о 10³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.088.01 Одеської національної академії харчових технологій (вул. Канатна, 112, м. Одеса, 65039).

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Одеської національної академії харчових технологій (вул. Канатна, 112, м.Одеса, 65039).

Автореферат розісланий “3” червня 2006 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
д.т.н., професор

К.Г. Іоргачова

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Задачами інтенсифікації луцильних технологій є зменшення енергетичних втрат, забезпечення екологічної безпеки, високої якості круп і комбікормів, розробка високоефективних луцильних комплексів. Їх вирішення здійснюється поліпшенням існуючих, розробкою нових комплексних способів, засобів, режимів обробки зерна. Однак можливості зменшення енерговитрат, підвищення якості луцення не вичерпані – тут є ряд невикористаних резервів. Основні з них – зменшення енерговитрат криється в сумісництві абразивного відділення оболонки з аеромеханічним способом очищення поверхні ядра зерна і відбором продуктів луцення. Здійснення вказаної комплексної дії на зернові матеріали дозволить усунути ефект сомозаражування (сухого змащування) луцильних машин і тим самим організувати та забезпечити рівномірну обробку поверхні зерна, екологічну чистоту крупи.

Розробка луцильних комплексів нового покоління дозволить вирішити проблеми зменшення енергетичних втрат та екологічної безпеки. Тому розвиток наукових уяв про механізми абразивного луцення, пневмосепарування, пневмотранспорту продуктів луцення, створення на їх основі методик обґрунтування раціональних режимів і конструктивних параметрів луцильних комплексів є доцільним і актуальним.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана відповідно до держбюджетної тематики науково-дослідних робіт “Виробництво, переробка і збереження сільськогосподарської продукції” № держреєстрації 0100U4572 в рамках програми “Малогабаритна техніка та безвідходна технологія переробки сільськогосподарської сировини для фермерських і колективних господарств України” за планом роботи Проблемної науково-дослідної лабораторії Одеської національної академії харчових технологій.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є підвищення ефективності роботи луцильних комплексів шляхом інтенсифікації процесів обробки поверхні зерна та аеросепарування продуктів луцення.

Для досягнення поставленої мети необхідно:

- виявити резерви підвищення ефективності луцення зерна в основних елементах луцильних комплексів;
- розробити нові принципи обробки зерна, пневмосепарування продуктів луцення і пневмотранспортування аеродинамічно легких відносів;
- розробити математичні моделі силового навантаження зерна комбінованої луцильної установки: абразивно-ударної обробки зерна, пневмосепарування продуктів луцення;
- провести експериментальні дослідження механіки переміщення, обробки, луцення зерна;
- провести експериментальні дослідження аеромеханіки двокomпонентних потоків для внутрішнього та зовнішнього сепарування і транспортування продуктів луцення;
- обґрунтувати структурні схеми, раціональні конструктивні і технологічні параметри нових луцильних комплексів за енергетичними, технологічними показниками.

Об'єкт дослідження – процеси лущення, пневмосепарування, пневмотранспортування зернових матеріалів.

Предмет дослідження – луцильний комплекс, в якому реалізована комплексна абразивна та аеродинамічна дія на продукт лущення зерна.

Методи дослідження – аналітичне моделювання процесу лущення, пневмотранспортування, аеросепарування зернових матеріалів.

Експериментальні дослідження виконували за загальноприйнятими методиками та передбачали використання методу планування експерименту. Обробка та узагальнення вихідних даних здійснено математично-статистичними методами на ЕОМ.

Наукова новизна одержаних результатів:

- доведено, що сумісництво комбіновано-абразивної дії на зернове середовище з пневмосепаруванням продуктів лущення дозволяє створити енергоефективний луцильний комплекс, що гарантує якість стартових комбікормів;

- встановлено та обґрунтовано пояснення зниження швидкості, за якої забезпечується інтенсифікація лущення при повторному ударно-фракційному поверхневому навантаженні;

- створено систему математичних моделей, які дозволяють дати кількісну оцінку динамічного деформування скелета укладки зернового потоку під дією комплексу внутрішніх і зовнішніх сил комбінованої деформації;

- встановлено взаємозв'язок конструктивних характеристик робочих органів машини для вибору їх раціонального поєднання з урахуванням фізико-механічних властивостей зерна;

- встановлено закономірності раціонального енергообміну в створенні стійких матеріало-повітряних потоків пневмосепарування та пневмотранспорту аеродинамічно-легких продуктів лущення;

- обґрунтовані раціональні аеродинамічні характеристики вентиляторів для стабілізації процесів оброблення сировини при коливаннях зернового навантаження в луцильно-сепарувальних комплексах.

Практичне значення отриманих результатів. Отримано “вихідні” дані, на основі яких виготовлено луцильний комплекс, що забезпечує ефективне оброблення поверхні зерна круп'яних та комбікормових виробництв.

Розроблено схеми включення луцильних комплексів в технологічний процес.

В результаті проведених досліджень розроблено новий луцильний комплекс. Дослідження у виробничих умовах показали, що він, на відміну від традиційних абразивно-луцильних машин, дозволяє зменшити кількість стадій обробки зерна, підвищити якість обробки зерна (рівномірність поверхневої обробки), знизити енергомісткість процесів лущення.

Особистий внесок здобувача полягає у формуванні і доведенні наукових положень, розробці комплексного способу обробки поверхні круп'яного зерна, аналізі, узагальненні та впровадженні результатів наукових досліджень в практику, формуванні висновків та підготовці до публікації результатів досліджень.

Апробація результатів дисертації. Матеріали основних положень дисертаційної роботи доповідались і одержали схвалення на щорічних наукових

конференціях професорсько-викладацького складу ОНАХТ, третій міжнародній науково-практичній конференції “Хлібопродукти - 2005” (Одеса, 2005 р.).

Публікації. За результатами досліджень опубліковано 9 робіт, у тому числі 8 у фахових виданнях.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, 4-х розділів, висновків, списку використаних літературних джерел та 4 додатків. Загальний обсяг дисертації складає 168 сторінок машинописного тексту, із них – 132 сторінки основного тексту, містить 23 рисунків (14 сторінок), 12 таблиць (6 сторінок), список використаних джерел з 131 найменувань (12 сторінок).

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовані мета і задачі досліджень, наукова новизна і практичне значення одержаних результатів.

У першому розділі наведено короткий огляд та аналіз способів лушення сепарування і методів оцінки їх ефективності. Дослідженнями, присвяченими вирішенню задачі визначення в загальному виді кількості енергії, що витрачається на руйнування, в залежності від властивостей і розмірних характеристик початкового та кінцевого продукту, займались К. Ріттингер, В.А. Кірпічев, Н. Кік, А. Гріффітс, Л.В. Левенсон, П.О. Ребіндер, Г. Румиф, Ф. Бонд та ін.

На основі огляду теорій руйнування, сучасних поглядів на процес здрібнення, лушення та шляхів його інтенсифікації слід відзначити, що ці питання знаходяться ще в стадії розробки. В свою чергу, процеси здрібнення, лушення матеріалів складної структури і форми, якими є зерно, ще не знайшли свого вирішення.

Дослідженнями, присвяченими розробці критеріїв оцінки ефективності процесу обробки, оцінки фізико-механічних властивостей матеріалів з позиції подрібнення, займались Ф. Бонд, К.А. Разумов, А.С. Анцифиров, К. Годен, Розин-Раммлер, С.Є. Андрєєв, Н.К. Белоглазов, А.Р. Демідов та ін. Стосовно зерна та продуктів його переробки такі дослідження проводили П.А. Афанасьєв, В.Д. Гіршсон, К.А. Зворикін, Н.Н. Купріц, П.А. Козьмін, П.П. Тарутін, С.Д. Хусід, І.А. Наумов, А.К. Демідов, Г.Г. Єгоров, Н.В. Вріський, Я.А. Портнов, В.П. Малаховцев, А.Л. Полянська, Ф.Г. Плохов, Л.І. Гросул, І.Р. Дударев та ін.

В більшості проведених раніше досліджень при перевірці міцнісних характеристик деформації підлягали окремі частини зернівки, пружно-пластичні характеристики, які могли бути випадковими, не характерними для матеріалу в цілому. Мала кількість частинок, що підлягали різним силовим навантаженням, не дозволила визначити ефективні сукупні навантаження.

На основі огляду й аналізу теорій деформацій і методів оцінки її ефективності доведено, що: інтенсифікація лушення може бути досягнута шляхом сумісництва ударно-фрикційної дії на зерно з аеродинамічним сепаруванням продуктів лушення.

Другий розділ присвячено моделюванню процесів обробки зерна при поєднанні силових полів абразивної й ударної дії, а також пневмосепарування, пневмотранспортування продуктів лушення.

Специфічні особливості дії робочих органів, які складаються з абразивних

рухомих дисків та конічно-зрізаних нерухомих конусів реалізують ідею комплексного навантаження. У зв'язку з відмінностями форми і міри силових факторів тертя зернового потоку в робочій силевій зоні діють зсувні навантаження зі змінним полем швидкостей, форма якого визначається фрикційними властивостями поверхні абразивного диска та нерухомих конусів. При цьому спостерігається динамічна формозміна та деформування скелета укладки зерен під дією комплексу внутрішніх і зовнішніх сил, що зумовлюють складну деформацію з результатом процесом відділення оболонки від ядра. Вказані умови комбінованого навантаження шару зерна визначаються з аналізу плоскої силової задачі (рис.1).

$$m \frac{dV_x}{dt} = N_B \cos \alpha - N_H \sin \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi_{\partial} + mg;$$

$$m \frac{dV_y}{dt} = P_u - N_B \sin \alpha - N_B \sin \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi_{\partial} + N_H \operatorname{tg} \varphi_H;$$

$$\frac{h}{2} (N_B \sin \alpha - N_B \sin \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi_{\partial}) - N_H \frac{h}{2} \operatorname{tg} \varphi_H = 0$$

Кінематичні і динамічні режими машини зумовлює кутова швидкість обертання ротора у взаємозв'язку з щільністю укладки зернівки у робочій зоні. Виходячи з умови відповідності коефіцієнтів тертя абразивного жорсткого диска f_q по продукту і внутрішнього тертя - f_s , кутова швидкість виділеного елемента продукту - ω_r визначається з рівняння $\omega_r = \frac{\omega_s + \omega_n}{2}$, де ω_s - кутова швидкість частинок, що контактують з направляючим диском. Кутова швидкість нижнього шару ω_n продукту, що контактує з наждачним абразивним диском, за припущення $f_n > f_s$ буде характеризуватись приблизною рівністю $\omega_n \approx \omega_a$, де ω_a - кутова швидкість абразивного диска.

Останнє припущення стає в реальних умовах цілком допустимим для абразивно – лушильних дисків зерен наждаку № 120, або рівним 1,2 мм. За розмірів лушених зерен $2,5 \pm 0,5$ таке припущення є оправдане.

При визначенні кінематичних, силових, енергетичних характеристик динамічного стану зернових потоків робочої зони прийнято: $V_{x \max} = V_y \operatorname{tg} \alpha$; $V_{x \min} = 0$; кутова швидкість периферійного шару наближається до кутової швидкості абразивного диска. З урахуванням наведених положень радіальна швидкість, за якої досягається лушення зерен, визначається рівнянням:

$$P_u \frac{\operatorname{tg} \alpha}{2} - N_H \operatorname{tg} \varphi_H \operatorname{tg} \alpha = N_H \frac{(1 - \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \varphi_{\partial}) \operatorname{tg} \varphi_H}{\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \varphi_{\partial}} - N_H + mg$$

Фрикційні властивості продукту, який переміщається залежать як від міжзернового тиску, швидкості переміщення, так і пружно-пластичних характеристик продукту. Для спрощення зернівки представлено твердими тілами,

які не деформуються, дія сил, що виникають в умовах пружного зсуву, нехтують. З прийнятої фізичної моделі продуктивність по лущеному зерну отримано у вигляді:

$$N_H = \frac{\left(P_u \frac{tg\alpha}{2} mg \right) tg(\alpha + \varphi_\partial)}{(tg\varphi_H tg\alpha tg(\alpha + \varphi_H)) + tg\varphi_H - tg(\alpha + \varphi_H)}$$

Потужність N , необхідна для обертання диска в сталому режимі, витрачається на:

- подолання опорів, викликаних тертям та рухом зернівок;
- збільшення вільної поверхневої енергії на межах розділення;
- створення пружно-пластичних деформацій матеріалопотоку, які переважають сили молекулярного зчеплення покривних тканин з ядром, забезпечують утворення як мікротріщин, так і нових поверхонь;
- руйнування оболонок та супровідне перетворення частини механічної енергії в теплову і може бути показана у вигляді:

$$N = \frac{2}{3} A \pi^2 f \omega_\partial (0,5 \omega_\partial^2 \rho tg\alpha + g)(R^2 + r_0^2)(R^3 + r_0^3);$$

$$A = \frac{tg(\alpha + \varphi_\partial)}{(tg\varphi_H tg\alpha tg(\alpha + \varphi_H)) + en\varphi_H - tg(\alpha + \varphi_H)}$$

Як об'єкт математичного опису процес сепарування, пневмотранспортування продуктів лущення характеризується десятками параметрів, з яких визначальними є втрати енергії на транспортування та витрати повітря. Для аналітичного опису пневмопотоків розглянуто роздільний рух компонентів, які мають свої середні, по перерізу робочої зони, характеристики (швидкість, густину). Весь процес визначається системою рівнянь:

$$\frac{d(\rho \varepsilon U)}{dx} = 0;$$

$$\frac{d[(1 - \varepsilon)V]}{dx} = 0;$$

$$\rho \varepsilon U \frac{dU}{dx} = f(U, V, \rho \frac{d\rho}{dx}; \varepsilon);$$

$$\rho_T (1 - \varepsilon)V \frac{dV}{dx} = \Psi [U, V, \rho_T, \frac{d\rho}{dx}, (1 - \varepsilon)]; \quad P = \rho RT,$$

де $\rho, P, \varepsilon, U, V$ відповідно поточні значення густини, тиску, порозності, швидкості повітря і твердої складової.

Сила взаємодії між повітряним середовищем і частинками, що містяться в

одиниці об'єму потоку, виражена у вигляді:

$$F_r = \frac{3}{4} C_x \frac{1}{d_\partial} (1 - \varepsilon) \rho (U - V)^2,$$

де

$C_x = C(\text{Re}; \text{Re}_T; \frac{d_\partial}{D}; \varepsilon)$ - коефіцієнти лобового опору частинки твердої складової при

стисненому обтіканні. Вона є внутрішньою для потоку, при чому для повітряного середовища є силою опору, а для квіткових оболонок рушійною.

З урахуванням стиснення, зумовленого твердими частинками, у двокомпонентному потоці діють складові від: ваги $\rho \varepsilon g dx$ (повітряне середовище)

$$\rho_T(1-\varepsilon)g dx \text{ (тверда складова) тиску - } \varepsilon \frac{dP}{\partial x} dx V \text{ повітря, - } \frac{dP}{\partial x}(1-\varepsilon) dx \text{ оболонок тертя,}$$

$$\lambda \frac{\rho V^2}{2D} \varepsilon dx \text{ - повітря, } \lambda_T \frac{\rho V^2}{2D_T} \varepsilon dx \text{ - оболонок і інерції } \varepsilon \rho \left(\frac{dV}{dt} + V \frac{dV}{dx} \right) dx \text{ - повітря,}$$

$$(1-\varepsilon)\rho + \left(\frac{dn}{dt} + n \frac{dn}{dx} \right) dx \text{ - оболонок.}$$

Сумісний аналіз функцій розподілу швидкостей витання $f_n(V_n)$ легкого і $f_s(V_s)$ важкого компонентів, а також повітряного потоку $f(V)$ в робочій зоні і розрахунку ефекту виділення легкого компонента - φ_L , вмісту важкої складової у повітряному потоці - φ_T визначає оцінку сепараційного ефекту за умови відповідності густини розподілу швидкостей витання компонент.

$$\xi_T = \int_{V_{s1}}^{V_{s2}} f_s(V_s) f_n(V) dV ; \quad \varphi_L = \int f_s(V_s) f_n(V) dV ; \quad \varphi_T = \frac{\xi_T}{\varepsilon_{TL} \xi_T + \varphi_L}$$

де ξ_T - коефіцієнт виносу важкої компоненти; ε_{TL} - співвідношення маси ваги важкої компоненти до маси легкої.

Застосування пакета програмного забезпечення дало змогу визначити вхідні фактори і вихідні параметри роботи луцильних комплексів та обґрунтувати напрямки інтенсифікації робочих процесів.

У третьому розділі наведено структурний план, який ілюструє взаємозв'язок основних етапів експериментального дослідження в лабораторних умовах, функції розподілу багатокомпонентних матеріалоповітряних потоків, дисипації енергії, характеристик якості робочих процесів лушення.

На основі аналізу робіт в галузі обробки зернових матеріалів розроблено параметричну схему процесу – рис. 2, в якій виділено вхідні управляючі та збудувальні фактори, а також вихідні керовані параметри, які визначають результативність процесу лушення.

Описано методики, лабораторні установки та пристрої для досліджень процесів комплексного лушення, пневмотранспортування аеродинамічно-легких продуктів лушення, пневмосепарування, аспірації та вивчення залежностей між продуктивністю, кількістю відходів, вмістом битих зерен, потужності луцильних комплексів від конструктивних і режимних характеристик.

У зв'язку з тим, що існуюча лабораторно-методична база досліджень не дозволяє дати вичерпну оцінку процесам поверхневої обробки зернової сировини, пневмопереміщення сипких матеріалів за деформованих епюр повітря, вивчення основних характеристик комплексного лушення виконували на установках, які

відтворювали типові промислові лушильні системи. За положеннями теорії подібності, масштаби моделей визначали відповідно діапазону параметрів типових абразивно-лушильних комплексів.

Властивості зернових матеріалів повітряних потоків, кінематики робочих органів машини, аеродинамічні параметри пневмосепараційних систем визначали з використанням загальноприйнятих методів.

Визначення числа повторностей експериментів виконували із застосуванням розподілення Стьюдента з використанням рівня надійності і припустимої похибки.

У четвертому розділі за результатами вивчення залежності відносних величин повної пластичної і пружної деформації від властивостей зерна і способів його навантаження (рис. 3) встановлено, що: збільшення “стискуючих” зусиль зумовлює зростання повних деформацій зерна, зростання пружних деформацій до максимуму, за якого починається реструктуризація ендосперму і наступне зменшення пружних деформацій при переході реструктуризації в руйнування ядра. Зростання напруги приводить до збільшення пластичних деформацій, абсолютне значення яких, по мірі зменшення пружних, асимптотично наближається до повних деформацій. Домінуюче положення пружних деформацій в початковий період призводить до збільшення навантаження і з наступною перевагою пластичних деформацій над пружними.

Встановлено, що з ростом вологості зерна (табл. 1) збільшуються пластичні деформації і зменшуються пружні деформації.

За підвищення склоподібності зерна (табл. 2) має місце пропорційне зменшення пластичних деформацій, збільшення пружних до максимуму, за якого починається реструктуризація ендосперму з наступним зменшенням пружних деформацій при переході реструктуризації в руйнування.

Таблиця 1

Експериментальні та розрахункові значення відносних деформацій зерна при стисненні

Умови навантаження статистичний параметр	Повна деформація, ΔC		Пластична деформація, $\Delta C_{\text{п}}$		Пружна деформація, $\Delta C_{\text{у}}$	
	фактична	розрахункова	фактична	розрахункова	фактична	розрахункова
Зернівка ячменю вологістю $V=12,6\%$ та склоподібністю $C=40\%$						
5	0,11	0,10197	0,04	0,0299	0,07	0,07207
10	0,16	0,17366	0,06	0,0711	0,10	0,10256
15	0,18	0,22199	0,07	0,1181	0,11	0,10389
20	0,24	0,26444	0,12	0,1692	0,12	0,09524
25	0,29	0,30853	0,19	0,2236	0,10	0,08493
30	0,36	0,35627	0,28	0,2808	0,08	0,07547
Ср. кв. відхил. σ	0,02224		0,03185		0,01229	
Коеф.вар. ν	9,96		25,15		12,72	

Таблиця 2

Залежність величини відносної деформації зерна пшениці від навантаження (P) і вологості (V)

Відносна деформація	Навантаження Р, Н	Вологість зерна пшениці В при склоподібності С=60 %						
		12	13	14	15	16	17	18
пластична, ΔC_n	15	0,03571	0,04476	0,05608	0,07028	0,08808	0,11038	0,13832
-"-	35	0,08333	0,11208	0,15072	0,20269	0,27259	0,36659	0,49301
пружна, ΔC_y	15	0,12821	0,11834	0,10389	0,10256	0,09615	0,09049	0,08547
-"-	35	0,11041	0,10192	0,09464	0,08833	0,08281	0,07794	0,07361
повна, ΔC	15	0,16392	0,16309	0,16598	0,17285	0,18423	0,20087	0,22379
-"-	35	0,19374	0,21399	0,24535	0,29102	0,35539	0,44453	0,56661

За результатами досліджень вплив вологості - В, склоподібності - С, навантаження - Р на пластичні - ΔC_n та пружні - ΔC_y деформації описано

залежностями: $\Delta C_n = \frac{r \frac{B}{12}}{7C}$; $\Delta C_y = \frac{CP}{(P^2 + C^2/110)V}$.

Вивчення пружно-пластичних характеристик зернової маси дозволило встановити залежності продуктивності Q_a , кількості битих зерен $B_{(9)}$, відходів лушення $C_{T(B)}$, потужності електропривода $N_{(C)}$ від конструктивних характеристик робочих органів, що реалізують ідею сумісництва зусиль різної природи (кут основи урізаного конуса робочої зони - α , раціональний зазор - δ) при лущенні зерна.

Аналіз результатів досліджень, наведених на рис. 4, вказує, що в процесі лушення зерна зростання раціонального зазора - δ в межах 5...25 мм призводить до зростання пропускної здатності лущильного комплексу від 0,75 до 1,5 т/год. Разом з тим вихід лущеного ячменю збільшується від 5 до 5,5 % за одночасного зменшення кількості зруйнованих битих зерен від 3,0 до 2,5 % та зменшення втрат енергії на процес від 28 до 16 кВт.

Збільшення кута нахилу твірної різаного конуса - α в межах 20...40град. зумовлює незначне підвищення пропускної здатності машини від 0,7 до 0,9 т/год, при чому зняття оболонки C_T практично залишається незмінним і складає 70 %.

Кількість зруйнованих зерен змінюється в межах $2,0 \pm 0,1$ %, а зміна потужності N складала $23 \pm 2,5$ кВт та характеризувала стабільну роботу комплексу. Аналогічні залежності отримані в процесі лушення інших зернових матеріалів.

Рис.4 Залежність продуктивності Q (а), кількості битих зерен Б (б), відходів лушення $C_{ш}$ (в), потужності електропривода N (с), від кута основи урізаного конуса робочої зони - α і радіального зазора δ ($1_{я}, 2_{я}$ – ячмінь, $1_{п}, 2_{п}$ – пшениця)

Обґрунтування раціонального значення швидкості фільтрації повітряного потоку було здійснено визначенням першої критичної швидкості псевдозрідження лущеної зернової суміші:

$$\text{Re}_c = \text{Ar} \left\{ 150 \frac{1 - \varepsilon_0}{\varepsilon_0^3} [1 + P_0(M - 1)] + \sqrt{\frac{1.75}{\varepsilon_0} [1 + P_0(M - 1)]^* \sqrt{\text{Ar}_2}} \right\}^{-1}$$

де $\text{Re} = \frac{\nu \delta \varepsilon}{\mu} \rho$ - критерій Re суміші; P_0 – масова частка легких частинок; Ar_Γ –

критерій Архімеда для важкої частинки; $\mu = \frac{\rho_2 - \rho}{\rho_1 - \rho}$, ρ_2 , ρ_1 – відповідно густина важкої і легкої фракції; ρ - густина повітря.

Вивчення аеродинамічних характеристик базової пневмоаспіраційної системи луцильної машини $G = f(V, \alpha)$; $H = f(V, \alpha)$ - продуктивності виносу оболонок та гідравлічного опору від швидкості V^* , кута атаки повітряного потоку (рис. 5,6) дозволило встановити, що мінімальні втрати тиску, максимальна продуктивність роботи пневмосистеми досягається за умови усунення горизонтальних лінійних потоків $Q_\Gamma \rightarrow 0$, та розподіленого псевдозрідження дрібнодисперсних потоків в режимі аерожолоба.

Вивчення епюр швидкостей пневмосистем дозволило обґрунтувати принципову схему пневмотранспорту, що усуває вихрові, застійні зони, “мертві” зони, забезпечує ефективний енергообмін між повітряним потоком і середовищем оболонок луцення (рис.7).

Використання нових пневмосистем дозволяє в 1,5 – 2 рази підвищити їх енергоефективність та забезпечити надійний пневмотранспорт при швидкості повітряного потоку в 2 рази меншої значень традиційних систем абразивних луцильних машин. Межове, мінімально допустиме значення швидкості повітряного потоку, що не перевищує $V=12$ м/с, забезпечено шляхом нижнього підведення повітряного потоку через пористу горизонтальну перегородку та зосередженої подачі аеродинамічно легких продуктів луцення в робочу камеру пневмоприймача.

Рис. 7. Схеми пневмоприймачів нової луцильної машини

За результатами досліджень пневмосепарування (рис. 8 і 9) встановлено пряму залежність ефекту вилучення лузги з робочого каналу від швидкості повітряного потоку в діапазоні від 4 до 5,7 м/с, а також обґрунтовані межові його значення за нормативним вмістом повноцінного продукту у відносах $Z, (V), (Z=2\%)$.

За результатами досліджень розроблено інженерну методику розрахунку луцильних систем комплексної дії, яка являє собою функціональні залежності конструктивних параметрів (кут нахилу направляючого конуса - α , “зазор” відносно абразивного диска - δ , частоти обертання ротора - ω , ступеня дроселювання зерна - f , продуктивності - Q , кількості відходів луцення - G , кількості битих зерен - B , потужності електропривода - N).

а б

Рис.8. Залежність вилучення зерна: а – повітряним потоком; б – вилучення домішок;
1 – кут атаки 50°; 2 – кут атаки 90°

а б

Рис.9. Вплив питомого навантаження на ефективність пневмосепарування:
а – залежність вилучення зерна; б – залежність вилучення домішок

Вони дозволяють при заданих α , δ , w , f , розраховувати значення Q , $C_{\text{л}}$, B , N і вибирати оптимальний технологічний процес обробки зернової культури певних властивостей.

$$Q = 5,8906 - 0,0892\alpha - 0,0861\delta - 2,6741\omega - 8,8542f + 0,0014\alpha^2 + 0,00275\delta^2 + 1,7187\omega^2 + 6,875f^2 + 0,0004\alpha\delta + 0,0089\alpha\omega + 0,0125\delta\omega$$

$$C = -15,5678 + 0,2624\alpha + 0,1875\delta + 17,9687\omega + 30,2292f - 0,0049\alpha^2 - 0,0096\delta^2 - 7,5521\omega^2 - 23,9583f^2$$

$$B = -4,7986 + 0,0566\alpha + 0,0733\delta + 5,1042\omega + 8,9583f - 0,0011\alpha^2 - 0,0021\delta^2 - 1,3021\omega^2 - 5,2083f^2 - 0,01255\alpha\omega - 0,025f\delta - 0,625\omega f$$

$$N = -13,4154 + 0,2349\alpha + 0,1195\delta + 29,8423\omega + 44,3571f - 0,004\alpha^2 - 0,0082\delta^2 - 5,4687\omega^2 - 3,0625f^2 - 0,0014\alpha\delta - 0,0357\alpha\omega + 0,0714\alpha f - 0,1375\delta\omega + 0,225f\delta - 13,125\omega f$$

$$Q = 12,8372 - 0,0528\alpha - 0,0733\delta - 17,833\omega - 3,3778f + 0,0007\alpha^2 + 0,0029\delta^2 + 7,3125\omega^2 + 3,1389f^2 + 0,0001\alpha\delta + 0,02\alpha\omega + 0,0033\alpha f + 0,025\delta\omega - 0,0033f\delta - 0,0833\omega f$$

$$C = -16,8611 - 0,0433\alpha - 0,1067\delta + 31,1666\omega + 1,0555f - 0,0012\alpha^2 - 0,0047\delta^2 - 11,875\omega^2 - 5,2778f^2 + 0,0008\alpha\delta + 0,0375\alpha\omega + 0,025\alpha f + 0,075\delta\omega + 0,05f\delta + 2,5\omega f$$

$$B = -20,6478 + 0,024\alpha + 0,0708\delta + 27,0541\omega + 8,0676f - 0,0009\alpha^2 - 0,0034\delta^2 - 8,5417\omega^2 - 4,3518f^2 + 0,0004\alpha\delta + 0,0025\alpha\omega - 0,0033\alpha f - 0,015\delta\omega - 0,02f\delta - 0,75\omega f$$

$$N = -95,5633 + 0,1808\alpha + 0,305\delta + 129,9998\omega + 53,5185f - 0,0027\alpha^2 - 0,0115\delta^2 - 36,1458\omega^2 - 20,5092f^2 - 0,0016\alpha\delta - 0,0687\alpha\omega + 0,0458\alpha f - 0,1375\delta\omega + 0,0583f\delta - 22,9167\omega f$$

Для об'єктивної оцінки ефективності процесу лушення зерна запропоновано комплексний показник, що враховує продуктивність лушильної машини $K = N_{\text{уст}} / Q \cdot C_{\text{ож}}$. За результатами обробки експериментальних даних за цільовою функцією $K = f(\alpha, \delta, w, f)$ отримано регресійне рівняння, яка описує поверхню відгуку вибраного критерію ефективності.

Для ячменю

$$K = 62,5643 - 0,4998\alpha - 0,9163\delta - 26,3863\omega - 70,003f + 0,0018\alpha^2 + 0,004\delta^2 + 3,9766\omega^2 + 19,6562f^2 + 0,0042\alpha\delta + 0,0692\alpha\omega + 0,3223\alpha f + 0,1081\delta\omega + 0,6637f\delta + 13,6562\omega f$$

Для пшениці

$$K = -46,9960 + 0,6620\alpha + 1,0307\delta + 52,0624\omega + 39,112f + 0,0005\alpha^2 + 0,0016\delta^2 + 7,6459\omega^2 + 5,2315f^2 + 0,0162\alpha\delta - 1,01\alpha\omega + 0,6258\alpha f - 1,9425\delta\omega + 1,46f\delta + 57,6667\omega f$$

Аналіз рівнянь показує, що раціональними параметрами обробки для ячменю є $\alpha = 30^\circ$; $\delta = 15$ мм; $w = 900$ об/хв; $f = 85$ %, для пшениці - $\alpha = 20^\circ$; $\delta = 10$ мм; $w = 1300$ об/хв; $f = 85$ %.

За результатами досліджень комп'ютерного моделювання було розроблено

новий вид луцильного агрегату комплексної дії (рис.12). Конструкторська документація на експериментальну установку подана дослідно-експериментальному заводу ДП ВАТ “Мельмонтаж”.

Виробничі випробування створеної луцильної системи проведено в Овідіопольському крупощеху сільськогосподарського кооперативу “Райсіль-енерго“. Випробування, які виконували згідно ДСТУ 46.007-9000, підтвердили ефективність комплексу, результати експериментального та комп’ютерного моделювання.

З порівняльного аналізу встановлено, що розходження між розрахунковими і практичними даними не перевершує 7–9 %. Комплексна оцінка конкурентоспроможності нового луцильного комплексу за типовою методикою підтвердила, що порівняно з існуючими вітчизняними і зарубіжними зразками його коефіцієнт технічного рівня досягає в окремих випадках 14, а комплексний показник конкурентоспроможності досягає до 8.

Застосування розробленого луцильного комплексу дозволяє знизити питомі енерговитрати на 13 - 14 % при одночасному підвищенні ефективності луцення на 7 - 8 %.

Рис.12 Принципова схема комбінованої абразивно-дискової машини

Економічний ефект від впровадження нової технологічної лінії складає 210 тис. грн. на рік.

ВИСНОВКИ

1. Комплекс проведених аналітичних і експериментальних досліджень підтвердив можливість стабілізації технологічної ефективності, мінімізації пошадійності процесів луцення шляхом сумісництва фрикційного відділення оболонок з аеродинамічним пневмосепаруванням, пневмо-транспортуванням зернових сумішей.

2. Розроблена математична модель абразивного луцення, що зв’язує фазові

зміни однорідності і рівномірності обробки зерна, кінетики і статички лушення з динамічною формозміною і деформуванням скелета укладки зернового потоку при сумісництві внутрішніх і зовнішніх сил комплексної деформації.

3. На основі імовірної моделі визначення характеристик енергетичних втрат на процес лушення розроблено аналітичну методику оцінки рівномірності обробки поверхні зернівок, що дозволяє обґрунтувати тривалість раціонального терміну для заданої якості лушення пшениці і ячменю.

4. Обґрунтована схема робочої зони і область раціональних значень частоти обертання абразивних дисків $\omega = 900 \dots 1300$ об/хв, радіальний зазор $\delta = 10 \dots 15$ мм, міжзерновий тиск в межах 15...18 кПа, схема подачі – кути направляючих конусів $\alpha = 20 \dots 30^\circ$, а також розроблено рекомендації щодо розрахунку лущильних комплексів.

5. Доведено, що надійне пневмотранспортування дрібнодисперсних продуктів з робочої зони лушення забезпечується нижнім підводом повітряного потоку через “пористу” перегородку (гідравлічний радіус $R_r = 2$ мм), формування аеросуміші передбачає зосереджену подачу аеродинамічно легких продуктів в робочу камеру. Основним фактором, що визначає енергомісткість пневмосистеми, є густина потоку. Опір вбудованого пневмоприймача лущильної машини, є пропорційним квадрату швидкості ковзання повітряної і дисперсності компонентів пневмопотуку.

6. Встановлено мінімальні витрати тиску, максимальна ефективність пневмосепарування відмічається при перпендикулярному взаємоперетинанні повітряного і продуктового потоків (кут $\alpha = 90^\circ$), горизонтальна подача суміші у вертикальний висхідний потік ($\alpha \rightarrow 90^\circ$), приводить до зменшення порозності, вірогідності зіткнення, зчеплення аеродинамічно легких частинок компонентів, які розділяються.

7. Виробничими дослідженнями лінії лушення і виробництва круп з використанням розробленої нової абразивно-дислової машини в Овідіопольському крупоцеху встановлена стабільна роботоздатність комплексу при фактичній продуктивності 800 кг/год з річним економічним ефектом 210 тис. грн.

СПИСОК ПРАЦЬ, ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Дударев І.Р. Методологічні аспекти застосування нових машин для одержання із зерна екологічно чистих продуктів. / І.Р. Дударев, П.І. Шевченко // Аграрний вісник Причорномор'я. Зб. наук. пр. Одеський ДСГІ. –Одеса.- 1999. - №3(6), ч. VI. -С.502-507.

Особистий внесок: проведення експериментальних досліджень, наукове обґрунтування результатів, аналіз і узагальнення отриманих результатів, оформлення статей до публікації.

2. Шевченко П.І. Лінія лушення і виробництва стартових комбікормів і крупи з зерна ячменю. / П.І. Шевченко // ОДСГІ. –Одеса.- 2000. -№3(11). -С.63-68.

Особистий внесок: проведення експериментальних досліджень, наукове обґрунтування результатів, аналіз і узагальнення отриманих результатів, оформлення статей до публікації.

3. Дударев І.Р. Дослідження контактного у сушіння відходів лущення ячменю. / І.Р. Дударев, П.І. Шевченко, В.П. Чучуй // Аграрний вісник Причорномор'я. Зб. наук. пр. Одеський ДСГІ. –Одеса.-2001. -№4(15). -С.20-25.

Особистий внесок: проведення експериментальних досліджень, наукове обґрунтування результатів, аналіз і узагальнення отриманих результатів, оформлення статей до публікації.

4. Дударев І.Р. Аналітичне обґрунтування продуктивності лопастної фрикційної машини. / І.Р. Дударев, П.І. Шевченко, М.В. Стебловська // Аграрний вісник Причорномор'я. Зб. наук. пр. Одеський ДСГІ. –Одеса.-2001. -№4(15). -С.52-57.

Особистий внесок: проведення експериментальних досліджень, наукове обґрунтування результатів, аналіз і узагальнення отриманих результатів, оформлення статей до публікації.

5. Гапонюк О.І. Експериментальне обґрунтування параметрів нових лущильно-шліфувальних машин. / О.І. Гапонюк, П.І. Шевченко // Зернові продукти і комбікорми. -2003. -№4. -С.51-53.

Особистий внесок: проведення експериментальних досліджень, наукове обґрунтування результатів, аналіз і узагальнення отриманих результатів, оформлення статей до публікації.

6. Гросул Л.І. Експериментально-теоретичне дослідження деформативних властивостей зерна. / Л.І. Гросул, О.І. Гапонюк, П.І. Шевченко // Зернові продукти і комбікорми. -2004. -№1. -С.37-42.

Особистий внесок: проведення експериментальних досліджень, наукове обґрунтування результатів, аналіз і узагальнення отриманих результатів, оформлення статей до публікації.

7. Гросул Л.І. Перспективи лущення та шліфування з метою дезактивації зерна і знезараження посівних угідь. / Л.І. Гросул, О.І. Гапонюк, П.І. Шевченко // Зернові продукти і комбікорми. -2004. -№3. -С. 40-44.

Особистий внесок: проведення експериментальних досліджень, наукове обґрунтування результатів, аналіз і узагальнення отриманих результатів, оформлення статей до публікації.

8. Шевченко П.І. Аеродинамічні проблеми у процесах лущення. / П.І. Шевченко, О.І. Гапонюк // Зернові продукти і комбікорми. -2004. -№4. -С.45-47.

Особистий внесок: проведення експериментальних досліджень, наукове обґрунтування результатів, аналіз і узагальнення отриманих результатів, оформлення статей до публікації.

9. Гапонюк О.І. Наведено спрощений метод розрахунку. / О.І. Гапонюк, П.І. Шевченко, І.І. Гапонюк // Зерно і хліб.-2004.-№4(36).-С.46

Особистий внесок: Обґрунтовано схему пошуку та алгоритм розрахунку раціональних режимних характеристик систем знесення транспортно-технологічних ліній.

АННОТАЦИЯ

Шевченко П.И. Совершенствование режимов и строение шелушительных машин для агрегатных установок по изготовлению круп. - Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.18.12 – процессы и аппараты пищевых, микробиологических и фармацевтических производств. Одесская национальная академия пищевых технологий Министерства образования и науки Украины, Одесса, 2006.

Диссертация посвящена вопросам создания шелушительных комплексов зерновых материалов, методов их анализа и оптимизации, что обеспечивает повышение эффективности шелушения и соответствие современным требованиям крупяных производств.

Рассмотрены шелушители, которые используются в крупяном производстве, выявлены их недостатки. Установлено, что наиболее эффективным способом шелушения является совмещение внешнего абразивного и внутреннего фрикционного воздействия на зерновки с пневмотранспортированием и аэросепарированием продуктов шелушения направленными воздушными потоками. Разработана соответствующая конструкция, проведены экспериментальные исследования нового шелушительного комплекса, подтверждена его эффективность.

Исследованиями эффективности шелушения установлено, что с изменением кольцевого зазора между поверхностями абразивных дисков и направляюще-распределительными клиновидными, усеченно-коническими устройствами и окружной скорости повышается интенсивность обработки зерна. Интенсификация, снижение удельной энергоемкости процессов шелушения достигается путем обработки зернового потока как на нижней, торцевой, так и на верхних частях абразивных дисков, что позволяет снизить удельную нагрузку на единицу полезной площади рабочих органов на 17 %, обеспечить равномерное шелушение зерновок.

Предложена методика расчета обобщенных показателей, которая учитывает конструктивно-технологические параметры лушительного комплекса.

Обоснована область рациональных режимов его работы в частности: частота вращения абразивных дисков $\omega = 900 \dots 1300$ об/мин, межзерновое давление 15...18 кПа, схема подачи – углы направляющих конусов $\alpha = 20 \dots 30^\circ$, угол атаки воздушного потока – 90° , гидравлический радиус пористой перегородки пневмоднища $R_r = 2$ мм.

Выполнены производственные испытания шелушительного комплекса и проведена экономическая оценка, которая свидетельствует, что его внедрение позволит получить экономический эффект до 210 тыс. грн. в год. Комплексная оценка шелушения по сравнению с лучшими образцами показала, что его технический уровень составляет до 8.

Ключевые слова: зерновые материалы, шелушение, пневмосепарирование, пневмотранспортирование, комплексный шелушитель, абразивные диски, пневмокамера.

АНОТАЦІЯ

Шевченко П.І. Удосконалення режимів та будови лушительних машин для

агрегатних установок по виготовленню крупів.-Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.18.12 - процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв. Одеська національна академія харчових технологій Міністерства освіти і науки України, Одеса, 2006.

В дисертації показано, що існуючі способи та устаткування лушення зернових матеріалів мають недостатньо високі техніко-економічні показники.

Обґрунтовано доцільність та розроблена нова конструкція луцильного комплексу з використанням абразивної механічної та аеродинамічної дії на продуктові потоки пшениці і ячменю.

Розроблено методику розрахунку конструктивних параметрів, режимів роботи нового луцильного комплексу, що забезпечують мінімізацію енерговитрат, зниження маси та капіталовкладень.

Результати досліджень і розробок впроваджено у виробництво.

Ключові слова: зернові матеріали, лушення, пневмосепарування, комплексний луцильник, абразивний диск, пневмокамера.

ANNOTATION

P. I. Shevchenko. Improvement of conditions for construction of flaking-off machines for modular configuration in groats production.- Manuscript.

Dissertation for the degree to candidate of technical sciences, specialty 05.18.12 – “Processes and equipment in food, microbiological and pharmaceutical industry”. Odessa National Academy for food technologies. Ministry of Education and Science in Ukraine, Odessa, 2006.

The dissertation explains that the present means and equipment for grain flaking-off don't have enough high technical and economic indices. It is founded the necessity and developed the new construction of flaking-off complex using abrasive mechanical and aero dynamical effect in product lines of wheat and barley.

It's worked out the methods how to calculate constructive parameters of operating mode in the new flaking-off complex. It provides minimization of power inputs, mass' and investment's reduction. The researching and working out results are applied in industry.

Key words: grain goods, flaking-off, air separation, complex flaking-off machine, abrasive disk, air chamber.

Підписано до друку 1.06.2006 р. Формат 900× 600/16
Об'єм 0,8 умов. друк. арк. Замовлення № _____ Тираж 100 прим.

ОНАХТ, 65039, м. Одеса – 39, вул. Канатна, 112