

БАКУМЕНКО Олександр Олександрович

УДК 664.726.002.51

**ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ОБРОБКИ ЗЕРНА В АБРАЗІВНО-ДИСКОВІЙ ЛУЩИЛЬНІЙ МАШИНІ
ШЛЯХОМ ПОСДНАННЯ ПРОЦЕСІВ ПНЕВМОСЕПАРУВАННЯ ТА АСПРАЦІЇ**

**Спеціальність 05.18.12 – процеси та обладнання харчових,
мікробіологічних та фармацевтичних виробництв**

**АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук**

Одеса 2002

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Одеській національній академії харчових технологій (ОНАХТ)
Міністерство освіти і науки України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор

Гапонюк Олег Іванович,

Одеська національна академія харчових технологій,
завідуючий кафедрою технологічного обладнання
зернових виробництв

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор

Гладушняк Олександр Карпович,

Одеська національна академія харчових технологій,
завідуючий кафедрою технологічного обладнання
харчових виробництв

кандидат технічних наук, доцент

Арсирій Василь Анатолійович,

Одеська державна академія будівництва та архітектури,
кафедра водовідведення та гідравліки

Провідна установа:

Національний університет харчових технологій,
кафедра процесів і апаратів харчових виробництв
та технології консервування, Міністерство освіти
і науки України, м. Київ

Захист відбудеться 20.12.2002 р. о 14 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д
05.16.01 при Одеській національній академії харчових технологій, за адресою:

65039, м. Одеса, вул. Канатна, 112 (ауд. А-234).

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Одеської національної академії харчових технологій за адресою: *65039, м. Одеса, вул. Канатна, 112.*

Автореферат розіслано 19.11.2002 р.

Вчений секретар спеціалізованої

Вченої ради, д.т.н., професор

Бурдо О.Г.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Одним з основних чинників, що визначають якість продукту при виробництві круп та стартових комбікормів для молодняка тварин і птиці, є процес лушення. Рівень енергетичних витрат на лушення в круп'яній промисловості, в залежності від виду крупи, яка виробляється, становить до 75-80% енергетичних витрат на їх виробництво.

Основною лущильною машиною виробництв по переробці зерна в крупу є абразивний лузгач. Маючи, в порівнянні з іншими лущильними машинами, цілий ряд переваг, таких як компактність, простота конструкції та обслуговування, низька питома енергомісткість, високий ступінь обробітку, можливість обробітку зерна без зволоження і т. д., абразивний лузгач має і ряд недоліків. Основним з яких є недостатньо ефективне, неповне протікання процесу лушення, що зумовлене ефектом “сухого змащування” внутрішніх шарів пиловидними оболонками. Ефект “сухого змащування” є причиною зменшення фрикційних сил на границях між зерном та ситовою і абразивною поверхнями, а також зниження міжзернового тертя внутрішніх шарів.

Наявність вказаних недоліків призводить до нераціонального використання енергії, зниження якості крупи, ускладнення і здорожчення обслуговування лузгачів.

Одним з напрямків рішення згаданих проблем є поєднання процесів лушення та пневмосепарування продуктів обробки безпосередньо в робочій зоні лузгачів.

Зв'язок з науковими програмами. Наукові дослідження та проектно-пошукові роботи проведено відповідно координаційного плану науково-дослідних робіт за темами №11/97-П (Держреєстрація №0197V016063), №5/2000-П “Системний аналіз та механіко-технологічні основи створення універсальних агрегатів для переробки в крупу зерна районованих на території України культур”.

Мета і задачі дослідження – розробка аеродинамічних методів інтенсифікації роботи абразивних лущильних машин (АЛМ), визначення оптимальних параметрів їх функціонування, зниження питомих енерговитрат.

Задачі досліджень:

- провести аналітичні дослідження аеродинамічних параметрів процесів лушення та визначити їх залежність від конструктивних характеристик внутрішніх пневмосепаруючих пристроїв;
- встановити вплив конструктивних і режимних параметрів комбінованих пневмосепараційних аспіраційно-пневмотранспортних систем (ПАПС) на інтенсивність обробки зерна;
- провести експериментальні дослідження з метою перевірки отриманих аналітичних закономірностей та розробити методи розрахунку й оптимізації ПАПС;
- встановити основні напрямки конструктивних вдосконалень АЛМ та впровадити їх у виробництво.

Наукова новизна одержаних результатів.

- аналітично визначено основні закономірності процесів пневмосепарування продуктів обробки зерна в робочій зоні машини в залежності від конструктивних характеристик ПАПС;
- теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено рівняння:
 - опису пневмосепарування з урахуванням сепарування на ситовій поверхні внаслідок переходу потенціальної енергії міжзернового тиску в робочій зоні в кінетичну

енергію частинки, що проходить крізь отвір сита ;

- руху та напруженого стану зернового матеріалу в робочій зоні машини;
- потужності, необхідної для реалізації процесу;
- розроблено методику розрахунку АЛМ та пневмосепараційно-аспіраційно-пневмотранспортних систем.
- експериментально отримані нові залежності технологічних та енергетичних показників обробки зерна з визначенням впливу аеродинамічних процесів на їх значення.

Практичне значення одержаних результатів.

Результати роботи сприяють вирішенню задач створення ефективних лузгачів з низькими питомими енерговитратами.

Розроблено удосконалений лузгач, який забезпечує зниження питомих витрат енергії процесу до 12% у порівнянні з серійною абразивно-дисковою машиною А1-ЗШН-3, а комплексний критерій інтенсивності процесу збільшує до 7%.

Нові модернізовані абразивні лузгачі впроваджені у виробництво (акти про впровадження додаються до дисертаційної роботи), ефект від впровадження нового лузгача складає 11699 грн на рік (у цінах 1998 року).

Особистий внесок здобувача полягає у формулюванні і доведенні наукових положень дисертації, розробці геометричних, кінематичних, динамічних, аеродинамічних моделей руху матеріалу та пилоповітряного потоку в робочій зоні машини, виносу відходів лущення із робочої зони АЛМ, постановкою і методиками комплексних експериментальних досліджень, проектуванні та виготовленні експериментальної установки, проведення дослідів, аналізі й узагальненні результатів досліджень.

Апробація результатів дисертації. Основні положення роботи доповідалися і обговорювалися на конференції “Хлібопродукти 97, 2000, 2002” (Одеса 1997, 2000, 2002р.), 58 - 62-й науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу і наукових співробітників ОДАХТ (Одеса, 1998 - 2002 рр.).

Достовірність теоретичних положень і висновків підтверджена результатами експериментальних досліджень і досвідом експлуатації АЛМ.

Публікації. Основні наукові положення, результати, висновки та рекомендації дисертації опубліковані в 9 роботах, в тому числі 7 у збірниках наукових праць і 2 у наукових журналах.

Об'єм та структура дисертації. Робота складається із вступу, 4-х розділів, висновку, списку використаної літератури, додатків. Дисертація викладена на 145 сторінках, містить 90 рисунків (47 стор.), 10 таблиць (12 стор), 13 додатків (92 стор.). Список використаних бібліографічних джерел включає 215 найменувань (23 стор.).

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі окреслено предмет досліджень, обґрунтовано актуальність теми роботи, сформульовано мета та основні завдання досліджень, наукові положення, показано наукову новизну і практичне значення одержаних результатів.

У першому розділі наведено аналіз сучасного стану обладнання для відокремлення оболонок від ендосперму. Розглянуто їх конструктивні особливості, параметри функціонування.

Вста-

новлена недостатня ефективність діючого обладнання, та вказані причини. Визначено зв'язок процесів лушення і транспортування зерна із пилоутворенням. Висвітлена роль основних технологічних та аеродинамічних факторів, які визначають параметри пилоповітряних потоків лінійних та розгалужених транспортно-технологічних ліній (ТТЛ).

Обґрунтовано доцільність розробки наукових основ суміщення процесів пневмосепарування та аспірації з метою інтенсифікації процесів лушення в робочій зоні дискової машини, основою створення яких є фундаментальні дослідження таких вчених: Веденєєва В.Ф., Гапонюка О.І., Гортинского В.В., Гросула Л.Г., Демского А.Б., Дзядзіо О.М., Дмитрука Є.А., Дударєва І.Р., Малиса А.Я., Мерко І.Т., Моргун В.О., Остапчука М.В., Пальцева В.С., Панченко О.В., та інші.

Визначено найбільш перспективні напрямки реалізації сумісництва технологічних процесів лушення з процесами пневмосепарування та аспірації. Показано, що значним резервом у розв'язанні завдань підвищення ефективності функціонування дискових машин для відокремлення оболонок є вдосконалення конструкції та раціональні технологічні та аспіраційні режими.

Сформульовано задачі досліджень для створення методів розрахунку, удосконалення схем та визначення доцільних умов їх експлуатації.

У другому розділі викладені теоретичні дослідження пневмосепарування з урахуванням конструкції абразивно-дискової луцильної машини та фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу. Модель поля обробки зернопродуктів у машині наведено на рис. 1.

Розрахункова схема машини (рис.2) розглянута за наступних умов:

1. Сипкий матеріал зернопродуктів являє собою середовище, яке розглядається як суцільне тіло, що володіє об'ємною густиною (щільністю) сипкого матеріалу, яку при великих тисках можна прийняти постійною.
2. Траєкторії зерен розташовані на циліндричних і конічних поверхнях.
3. Вектор ротора швидкості ортогональний вектору швидкості і вектору нормалі до поверхні траєкторії.
4. Рух зернового потоку здійснюється в сталому режимі.

З урахуванням напруженого стану зернового потоку в різних точках простору робочої зони винос оболонок подано у вигляді залежності:

$$Q = Q_1 n_1 + Q_2 n_2 + Q_3 n_3, \quad (1)$$

де n_1, n_2, n_3 - відповідно кількість підзон I, підзон II, підзон III (рис. 2) у машині (в залежності від кількості дисків - n);

Q_1, Q_2, Q_3 - відповідно кількість продуктів обробки, що виносяться в першій, другій і третій підзонах.

У розгорнутому вигляді рівняння (1) має наступний вигляд:

$$Q_{\text{выноса}} = n_1 k_{\text{жс}} \rho_i \int_{\delta_i}^{\delta_{i+1}} \left(1 - \frac{\delta}{\delta_o}\right)^2 g(\delta) d\delta \iint_{S_1} \sqrt{\frac{2\sigma_{rr1}}{\rho_i}} dS_1 +$$

$$+ n_2 k_{\text{жс}} \rho_i \int_{\delta_i}^{\delta_{i+1}} \left(1 - \frac{\delta}{\delta_o}\right)^2 g(\delta) d\delta \iint_{S_2} \sqrt{\frac{2\sigma_{N2} + \rho_{\text{вх}} V^2}{\rho_i}} dS_2 + n_3 k_{\text{жс}} \rho_i \int_{\delta_i}^{\delta_{i+1}} \left(1 - \frac{\delta}{\delta_o}\right)^2 g(\delta) d\delta \iint_{S_3} \sqrt{\frac{2\sigma_{N3}}{\rho_i}} dS_3 \quad (2)$$

де y_{rr1} , y_{N2} , y_{N3} - відповідно нормальні напруження на внутрішній поверхні зовнішньої ситової обичайки в першій, другій і третій зонах машини; δ_o , δ_i - робочий розмір сита та розмір i -тої фракції відходів лущення; c_i - густина i -тої фракції, $k_{\text{жс}}$ - коефіцієнт живого січення сита.

Аналітичні розв'язки рівнянь нерозривності, які отримані методом розділення змінних, записаних для кожної із трьох типових підзон, дали змогу визначити вирази для визначення радіальної та осрової швидкостей у робочих зонах.

Вирази колової швидкості визначаються за умови ортогональності ротора швидкості до нормалі поверхні траєкторії.

Поле швидкостей першої підзони:

$$V_r = \frac{A_1(R_2 - r)}{r} e^{az}, \quad V_z = A_2 \cdot \frac{e^{az}}{r}, \quad V_\phi = A_3 \cdot \frac{e^{az}}{r} \quad (3)$$

Поле швидкостей другої підзони:

$$V_z = \frac{C^*(r - B)^{\lambda_2 - 1}}{r(z - A)^{\lambda_2}}, \quad V_r = \frac{r - B}{z - A} V_z = \frac{C^*(r - B)^{\lambda_2}}{r(z - A)^{\lambda_2 + 1}}, \quad V_\phi = \frac{C_{2\phi}}{r} ((r - B) \cdot (z - A))^{\lambda_{2\phi}} \quad (4)$$

Поле швидкостей третьої підзони:

$$V_r = \frac{C_3}{zr} \left(\frac{z}{L - r} \right)^{\lambda_3}; \quad V_z = - \frac{C_3}{zr} \left(\frac{z}{L - r} \right)^{\lambda_3 + 1}; \quad V_\phi = \frac{C_{3\phi}}{r} \left(\frac{z}{L - r} \right)^{\lambda_{3\phi}}, \quad (5)$$

де A_1 , A_2 , A_3 , a , C^* , λ_2 , $C_{2\phi}$, $\lambda_{2\phi}$, C_3 , $C_{3\phi}$, λ_3 , $\lambda_{3\phi}$ сталі інтегрування знайдені аналітичними методами з використанням рівнянь продуктивності, Гауса-Остроградського, зміни кінетичного моменту та кінетичної енергії системи зерен і рівняння Стокса.

Напруження, що виникають в робочій зоні машини внаслідок руху зерна, знаходили вирішенням динамічної моделі, що побудована на базі рівнянь зернового потоку в робочій зоні, в циліндричних координатах та з урахуванням осрової симетрії, об'ємних сил у напрямку осі z . Для першої, другої та третьої підзон відповідно:

$$\frac{\partial \sigma_{rz}}{\partial r} + \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z} + \frac{\sigma_{rz}}{r} = \rho W_z + \rho g \quad \frac{\partial \sigma_{rz}}{\partial r} + \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z} + \frac{\sigma_{rz}}{r} + \rho g = \rho \left(V_r \frac{\partial V_z}{\partial r} + V_z \frac{\partial V_z}{\partial z} \right)$$

$$\frac{\partial \sigma_{rz}}{\partial r} + \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z} + \frac{\sigma_{rz}}{r} + \rho g = \rho \left(V_r \frac{\partial V_z}{\partial r} + V_z \frac{\partial V_z}{\partial z} \right) \quad (6)$$

Використовуючи круги Мора рівняння зводяться до одного невідомого і з допомогою ЕОМ вирішується за належним чином вибраних початкових умов руху завдяки чому стає можливим визначення потужності, необхідної для приводу ротора машини.

Потужність, що споживається п дисками машини:

$$N_{\text{маш}} = N_{\text{заяр}} + nN_1 + nN_2 + nN_3 + N_{\text{дис}}, \quad (7)$$

де $N_{\text{дис}}$ – дисипаційна складова, що виникає внаслідок нагріву продукту.

Розглянувши три підзони машини, а також зону завантаження, можна записати вирази потужності:

Перша підзона:

$$N_1 = 2\pi R_1^2 \left(\omega_p - \frac{A_3}{R_1^2} \right) \int_H^{H_o} \sigma_{rr1}(R_1, z) f_1 dz \quad (8)$$

Друга підзона:

$$N_2 = \frac{2\pi f_2 (\omega_p - \omega_{z21})}{\cos \phi_1} \int_l^{r_1} r^2 (\sigma_{rr2} \sin^2 \phi_1 + \sigma_{zz2} \cos^2 \phi_1) dr, \quad (9)$$

Третя підзона:

$$N_3 = (\omega_p - \omega_{z31}) \int_0^{2\pi} \int_l^{R_1} \sigma_{zz3} f_1 r^2 dr d\phi = 2\pi f_1 (\omega_p - \omega_{z31}) \int_l^{R_1} \sigma_{zz3}(r, 0) r^2 dr. \quad (10)$$

Потужність, що затрачується на привід ротора в зоні завантаження:

$$\begin{aligned} N_{\text{заяр}} &= (\omega_p - \omega_{z3ap1}) \int_0^{2\pi} \int_l^{R_1} \sigma_{zz}^{\text{заяр}} f_1 r^2 dr d\phi = 2\pi f_1 (\omega_p - \omega_{z31}) \sigma_{zz}^{\text{заяр}} \int_l^{R_1} r^2 dr = \\ &= 2\pi f_1 (\omega_p - \omega_{z31}) \sigma_{zz}^{\text{заяр}} \left(\frac{R_1^3}{3} - \frac{l^3}{3} \right). \end{aligned} \quad (11)$$

Враховуючи вище означене (7) можна подати у вигляді:

$$\begin{aligned} N_{\text{маш}} &= 2\pi f_1 (\omega_p - \omega_{z3ap1}) \sigma_{zz}^{\text{заяр}} \left(\frac{R_1^3}{3} - \frac{l^3}{3} \right) + n 2\pi f_1 R_1^2 \left(\omega_p - \frac{A_3}{R_1^2} \right) \int_H^{H_o} \sigma_{rr1}(R_1, z) dz + \\ &+ \frac{2\pi f_2 (\omega_p - \omega_{z21})}{\cos \phi_1} \int_l^{R_1} r^2 (\sigma_{rr2} \sin^2 \phi_1 + \sigma_{zz2} \cos^2 \phi_1) dr + 2\pi f_1 (\omega_p - \omega_{z31}) \int_l^{R_1} r^2 \sigma_{zz2}(r, 0) dr + N_{\text{дис}} \end{aligned} \quad (12)$$

де ω_p , ω_{zi} – відповідно кутові швидкості ротора та оброблюваного матеріалу, рад/с; σ_{zz1} , σ_{rr1} – головні напруження в відповідних підзонах; f_1 , f_2 – коефіцієнти тертя між зерновим шаром та абразивною поверхнею і зерновим шаром та рухомою конічною ситовою обичайкою відповідно.

Задача оптимізації конструкції робочих органів луцильно-шліфувальної машини сформульована за умови наближення міжзернових напружень в робочій зоні до допустимих напружень для оброблюваного зерна при мінімальній потужності на привід ротора з урахуванням параметричних обмежень, що характеризують геометрію робочої зони, кінематичні, технологічні (продуктивність) показники та фізико-механічні властивості матеріалу, що оброблюється.

Аеродинамічна модель аспірації АЛМ побудована з урахуванням аеродинамічних зв'язків між елементами ТТЛ. Для опису аеродинамічних характеристик самопливів, що виконують функції зв'язків між обладнанням застосовано модель, яка враховує ежективну дію самопливів:

$$\begin{aligned} \frac{Gg}{F_1} K\alpha_1 \int_0^{L_1} \frac{|U_1 - V_1|(U_1 - V_1)}{U_1 V_{bs}^2} dx - \frac{1}{2} \xi_{\text{ex}(1)} \rho_e \left(\frac{Q_1}{F_1} \right)^2 &= K_2 Q_3^2 = H_4 \\ \frac{Gg}{F_2} K\alpha_2 \int_0^{L_2} \frac{|U_2 - V_2|(U_2 - V_2)}{U_1 V_{bs}^2} dx - \frac{1}{2} \xi_{\text{ex}(1)} \rho_e \left(\frac{Q_2}{F_2} \right)^2 - \varepsilon_2 Q_2^2 &= K_2 Q_3^2 = H_4 \end{aligned} \quad (13)$$

$$H = \varepsilon \cdot Q_3^2$$

$$H_{\text{АЛМ}} = f(Q_{\text{АЛМ}})$$

де G – масова продуктивність матеріалопотоку, кг/с; U – швидкість твердих частинок, м/с; V_{bs} – швидкість витання зернових частинок, м/с; c_{θ} – густина повітря, кг/м³; F_1 та F_2 – відповідно площа поперечного перерізу самопливів завантаження та розвантаження, м²; Q – масова продуктивність повітряного потоку, кг/с; V_1 ; V_2 – швидкість повітря, що переміщується по самопливам завантаження та розвантаження відповідно, м/с.

Інтеграли першого та другого рівнянь визначають відповідно аеродинамічні характеристики самопливів завантаження та розвантаження. Опір входу та виходу пилоповітряних потоків в самоплив завантаження та з самопливу розвантаження подано відповідно комплексами

$$\xi_{вх(1)} \rho_{\theta} \left(\frac{Q_2}{F_2} \right)^2 / 2 ; \quad \xi_{вих(2)} \rho_{\theta} \left(\frac{Q_2}{F_2} \right)^2 / 2 , \text{ опір руху пилоповітряних потоків через нещільності укриття, а}$$

також взаємодія з робочими органами АЛМ визначені комплексами $K_2 Q_3^2$, $\varepsilon_2 Q_3^2$. Рівняння $H_{АЛМ} = f(Q_{АЛМ})$ описує аеродинамічну характеристику АЛМ за ежективних режимів.

На основі викладених вище методик виконані розрахунки із застосуванням пакета програмного забезпечення, створеного в системах MathCad, MathBrain, Excel, що дали змогу аналітично визначити залежності вхідних і вихідних параметрів роботи машини та знайти оптимальні геометричні параметри робочої зони.

уктивних, кінематичних, динамічних, аеродинамічних, технологічних параметрів АЛМ, показники оцінки якості і енергоємності робочого процесу лушення та аспірації.

Описано методики, лабораторні установки (рис.4) та пристрої для досліджень процесів лушення та аспірації.

Визначення властивостей матеріалів, їх фракційних складових, повітряного середовища, кінематики робочого органу АЛМ виконували з використанням загальноприйнятих методів.

Обробку результатів експериментальних одно- та багатофакторних планів виконували методами математичної статистики.

Для оцінки якості виконання технологічних операцій використовувались загальноприйняті показники – коефіцієнти лушення K_{λ} , цілності ядра $K_{ця}$, технологічної ефективності лущильної машини E_{λ} .

Згадані коефіцієнти визначаються за формулами:

$$K_{\lambda} = \frac{H_1 - H_2}{H_1} , \quad K_{ця} = \frac{\Delta k}{\Delta k + \Delta d + \Delta m} , \quad E_{\lambda} = K_{\lambda} \cdot K_{ця} ,$$

Рис.4. Схема експериментальної установки абразивно-дискової лущильно-шліфувальної машини
1 – вертикальний циліндричний корпус; 2 – завантажувальний бункер; 3 – вал ротора; 4 – абразивні диски; 5 – рухомий перфорований конус; 6 – вентиляторна лопать; 7 – ситова обичайка;

8 – привод ротора; 9 – втулки кріплення ротора з отворами для руху повітря; 10 – термopapи; 11 – розвантажувальний пристрій; 12 – дерев'яна ємкість для збору обробленого продукту; 13 - клапан регулювання міжзернового тиску в робочій зоні; 14- повітропроводи; 15 - вентилятор с електроприводом; 16 – рідинні мікроманометри ММН-250; 17 – U-подібні манометри

де H_1, H_2 – вміст в зерні не лущених зернівок на вході та на виході з машини; $\Delta k, \Delta d$ – кількість цілого і подрібненого зерна, отриманого в процесі лущення; Δm – кількість мучки, отриманого в процесі лущення. Для оцінки енергетичних характеристик використовувались загальноприйняті показники та показник, що зв'язує енергетичні та технологічні параметри:

$$N_{ydm} = \frac{N}{G \cdot O_{ш}}, \text{ кВт} \cdot \text{год} / (\text{тону} \cdot \% \text{ відходів лущення}).$$

Розроблена експериментальна установка (рис.4), яка дозволила змінювати зазор між поверхнею абразивного диска та поверхнею сита, колову швидкість руху ротора, на якому закріплені абразивні диски, продуктивність та схему руху повітряних потоків, що рухаються в робочому просторі лущильної машини, продуктивність зернового потоку, який проходить крізь робочий об'єм лузгача.

У четвертому розділі наведені результати і підсумки досліджень процесу лущення розробленою абразивно-дисковою лущильно-шліфувальною машиною зерна ячменю, пшениці, жита, гороху, сої, кукурудзи для перевірки теоретичних положень і висновків.

Експериментально отримано опис ежекційних процесів взаємодії повітря з робочими органами абразивно-дискової лущильно-шліфувальної машини (рис.5).

Вигляд аеродинамічних характеристик зумовлено складною схемою розподілу повітря (рис.6) з почерговим домінуванням послідовної та паралельної схеми з'єднання потоків. Визначені аеродинамічні характеристики лузгача, для різних схем аспірації машини (схема аспірації протитоком, прямотоком та комбінованим знепиленням), доведено, що оптимальною, за показниками енергоємності та виносу відходів лущення, є схема аспірації прямотоком.

Встановлено залежності потужнос-

ті; питомої енергомісткості (кВт·год/т·% відходів лущення) (рис 7, 8, 9, 10). Наведені закономірності отримано для наступних значень вхідних факто

рів: зазор – 10мм, лінійна швидкість диска – 24,5 м/с, витрати повітря 0,15 м³/с, продуктивність 0,1 кг/с. Залежність питомих енерговитрат від радіального зазору наведена на рис.7. На рис 8 подана залежність питомих енерговитрат від лінійної швидкості робочих органів, а також вказано вплив наявності процесів пневмосепарування та аспірації на питому енергоємність.

Рис.9,10 ілюструють залежності питомої енергоємності від витрат повітря на реалізацію процесів пневмосепарування та від продуктивності машини.

Наведені закономірності доводять позитивний вплив процесів пневмосепарування та аспірації на

показник питомої енергоємкості та підтверджують можливість усунення ефекту “сухого змащування”.

Для замкнення математичного опису процесу пневмосепарування (2) визначено склад відходів лущення, що утворюються під час обробки зернового матеріалу в робочій зоні та динаміку виникнення по зонах і підзонах машини (рис. 11).

Також визначено залежності: потужності, що витрачається на аспірацію; температури повітря та зерна на виході з лузгача; зміни насипної маси зернової сировини; зниження зольності; виходу та виносу відходів лущення; приросту битих зерен; виходу продуктів обробки; критеріїв ефективності процесу лущення від вхідних параметрів – зазору, лінійної швидкості абразивних

дисків, продуктивності повітря та продуктивності лузгача та показаний вплив аспірації на згадані показники.

Вплив процесів пневмосепарування та аспірації на вказані показники складає до 11% (різниця значень показників з аспірацією та без аспірації за рівних інших умов).

Експериментально визначено оптимальну кількість та геометрію лопаток міждисккових блочних вентиляторів по показнику виносу відходів лущення без роботи аспіраційного відбору (рис. 12). Оптимальна кількість складає 8 загнутих вперед лопаток. Дослідження впливу аспірації на

показники якості та енергоємкості лущення машини показали, що комплексний показник критерію інтенсивності збільшується до 7 % при наявності пневмосепарування (за оптимального значення продуктивності повітряного потоку).

На основі теплового балансу зернових та пилоповітряних потоків в робочій зоні АЛМ визначено, що дисипаційна складова енергії, яка витрачається на нагрівання оброблюваного зерна, складає до 15 % від загальної енергії, що затрачається.

Реалізація опису аеромеханіки двокомпонентних потоків ПАПС абразивно-дисккових лушильних машин з урахуванням ежекційних властивостей АЛМ (рис.5), дозволила визначити необхідні параметри аспіраційного відбору для забезпечення максимально ефективного протікання процесів пневмосепарування та пневмотранспорту відходів лущення при роботі машини в режимі прохідної та непрохідної ланки (Рис.13, 14).

Встановлено, що АЛМ в ежекційному режимі створює повітряний потік питомою продуктивністю до $0,1 \text{ м}^3/\text{с}$ на 1 кг/с оброблюваного зерна і повний тиск до 70 Па в залежності від герметичності укриття машини та самопливів. За результатами порівняльного аналізу лабораторних і виробничих досліджень ежективних властивостей АЛМ встановлено, що розбіжність між аналітичними і дослідними даними не перевищує 8%.

Забезпечення оптимальних умов пневмотранспортування для повної очистки внутрішнього простору від відходів лущення досягнуто використанням ексцентрично розташованого по

відношенню до ситової обичайки направляючо-розподільного кожуху (рис 15), що дозволяє створювати необхідний швидкісний режим локального пневмотранспортування. Рис.16 ілюструє результати випробувань.

Оптимальні режими роботи машини визначені керуючись уніфікованим показником – E_d (коефіцієнтом ефективності лушення), який наведено для ячменю в рівнянні (14). З експериментальних досліджень з'ясовано, що за умови $E_d \rightarrow \max$, оптимальні режими досягаються (для ячме-

ню) при : зазор – 10 мм, колова швидкість абразивних дисків – 27,5 м/с ; продуктивність повітряного потоку – 0,33 м³/с, продуктивність лушильної машини – 0,36 кг/с.

$$E_d(z, V, Q, G) = 0,571 + 0,952 \cdot z + 0,924 \cdot Q + 0,917 \cdot G - 0,035287 \cdot z \cdot V + 0,994664 \cdot z \cdot Q + 0,994664 \cdot z \cdot G - 0,046606 \cdot V \cdot Q - 0,0355592 \cdot V \cdot G + 0,9890047 \cdot Q \cdot G + 0,998444 \cdot z^2 + 0,960959 \cdot Q^2 + 1,001909 \cdot G^2 \quad (14)$$

Виробничі випробування розробленої абразивно-дискової лушильно-шліфувальної машини, проводили на комбикормовому заводі Черняхівського комбінату хлібопродуктів Житомирської області та в цеху виробництва круп Овідіопольського заводу продовольчих товарів.

Основною метою дослідження роботи розроблених АЛМ в виробничих умовах була перевірка їх ефективності та оцінка придатності аналітичних залежностей за визначенням коефіцієнта виносу оболонки, питомих витрат аспіраційного повітря, втрат тиску, енергетичних характеристик процесів лушення, пневмосепарації та аспірації. За результатами порівняльного аналізу основних характеристик ПАПС встановлено, що розходження між аналітичними і дослідними даними знаходиться в межах 7-9 %. Таким чином зроблено висновок: запропонована методика проекту

вання дає змогу практично визначити раціональні параметри роботи пневмосепараційно-аспіраційно-пневмотранспортних систем АЛМ.

Порівняно з серійною абразивно-дисковою лушильно-шліфувальною машиною А1-ЗІШН-3 застосування удосконаленої машини дозволяє знизити питомі енерговитрати на 12% при одночасному підвищенні ефективності лушення на 7%. Розрахункова економічна ефективність застосування нової машини на Овідіопольському заводі продовольчих товарів становить 11699 грн за рік (в цінах 1998 року).

ВИСНОВКИ

1. За результатами досліджень встановлено можливість зменшення питомих енерговитрат процесу лушення зерна до 12% та підвищення комплексного критерію лушення до 7%, шляхом усунення ефекту “сухого змащування” внутрішніх зернових шарів продуктами обробки.
2. Інтенсивність процесу обробки зерна зростає зі збільшенням активної площі міждискової зони пневмосепарування, витрат повітря на реалізацію процесів пневмосепарації та пневмотранспорту.
3. Розроблений алгоритм розрахунку та програмне забезпечення вирішення нелінійної задачі визначення параметрів пневмосепарації, руху оброблюваного матеріалу та енергетичних

характеристик АЛМ, на відміну від відомих алгоритмів дозволяє аналітично встановити напружений стан у робочій зоні, оптимізувати параметри робочої зони та врахувати аеродинамічні показники конструкції і аеродинамічні зв'язки з іншим обладнанням.

4. Мінімальний тиск, необхідний для створення стійкої пневмосепарації оболонок, визначається суперпозицією аеродинамічного опору зернового шару, ежективних характеристик органів, аеродинамічного опору конструктивних елементів машини.
5. Запропоновано конструкцію і обґрунтовано робочий процес АЛМ зі встроєною системою міждискових вентиляторних блоків розподілу направлених повітряних потоків. Встановлено, що найбільш доцільною і ефективною є система аспірації прямою потоком, знайдено оптимальну кількість (8 шт) та профіль лопаток (загнуті вперед), встановлених в міждисковому просторі.
6. Дослідженнями АЛМ обґрунтовано раціональні значення колової швидкості абразивних дисків (27,5 м/с), радіального зазора (10 мм), продуктивності повітря 0,6 м³/с на 1 кг/с продуктивності лушильної машини (ячмінь) для шести оброблюваних культур: ячмінь, пшениця, жито, горох, кукурудза, соя, а також встановлено траєкторії руху, радіальні, осьові й окружні компоненти швидкості зернового потоку, та напруження, що виникають під час реалізації процесу в будь-якій точці робочої зони машини. Приведено рекомендації по використанню отриманих результатів при розрахунку лушильних машин для різних видів оброблюваної сировини.
7. Розроблена методика розрахунку раціональних параметрів пневмосепараційно-аспіраційно-пневмотранспортних систем враховує ежекційні властивості робочих органів, аеродинамічні зв'язки АЛМ та дозволяє обґрунтувати ефективне співвідношення аеродинамічних характери-

стик внутрішнього блоку пневмосепараційних вентиляторів та зовнішньої аспіраційно-пневмотранспортної системи.

8. На основі узагальнення результатів досліджень отримані вихідні дані, на підставі яких виготовлені дослідні зразки АЛМ, продуктивністю 0,1-2,5 тон/год, що забезпечують ефективну обробку зерна пшениці, ячменю, жита, кукурудзи, сої, гороху. Розроблена АЛМ рекомендована до постановки на серійне виробництво. Запропонована машина впроваджена в круп'яному цеху Овідіопольського заводу продовольчих товарів, річний економічний ефект складає 11699 грн у цінах 1998 року при наявності двох машин у цеху.

Список праць, опублікованих за темою дисертації:

1. Гапонюк О.І., Бакуменко О.О. Оптимальні конструктивні та функціональні параметри аспіраційних систем транспортно-технологічних ліній, що вміщують дискові лушильні машини// Зб. наук. пр. – Одеса: ОДАХТ, 1999. Вип.20. – С.242-246.
Автором проведено математичне моделювання процесів аспірації в транспортно-технологічних лініях, що вміщують дискові лушильні машини.
2. Гапонюк О.І., Бакуменко О.О., Подкалюк П.О. Метод визначення оптимальних режимів аспіраційно-пневмотранспортної установки абразивно-дискових лушильно-шліфувальних

машин// Зб. наук. пр. – Одеса: ОДАХТ, 1999. Вип.19. – С.209-212.

Автором проведені теоретичні дослідження по визначенню оптимальних режимів роботи аспіраційно-пневмотранспортної установки абразивно-дискових луцильно-шліфувальних машин.

3. Гапонюк О.І., Бакуменко О.О., Подкалюк П.О. Аеродинаміка пилоповітряних потоків абразивно-дискових луцильно-шліфувальних машин// Зб. наук. пр. – Одеса: ОДАХТ, 1999. Вип.19. – С.212-215.

Автором запропоновано підхід для опису аеродинамічних характеристик пилоповітряних потоків абразивно-дискових луцильних машин.

4. Гапонюк О.І., Бакуменко О.О., Шипко І.М., Подкалюк П.О. Скористайтесь новою луцильно-шліфувальною машиною для максимальної обробки зерна при мінімальному подрібненні.//Зерно і хліб. – 1999. №2. – С.41.

Автором проведена частина досліджень по обробці зерна, подані режими роботи запропонованої машини.

5. Гапонюк О.І., Шаповаленко О.І., Подкалюк П.О. Бакуменко О.О. Знепилюючі установки. Як визначити раціональний режим їх експлуатації.// Зерно і хліб. – 1999. №3. – С.38-39.

Автором проведена частина теоретичних та експериментальних досліджень по визначенню раціональних режимів роботи знепилюючих установок з урахуванням ежективного впливу самопливів та впливу аеродинамічних характеристик обладнання.

6. Гапонюк О.І., Бакуменко А.А., Гончарук А.А., Подкалюк П.А. Уравнения двухфазных потоков переменной структуры твердой компоненты// Зб. наук. пр. "Проблеми та перспективи розвитку виробництва та споживання хлібопродуктів". – Одеса: ОДАХТ. – 1997. – Том 1. – С.77- 79.

Автором виконана частина досліджень по математичному моделюванню двофазних потоків змінної структури твердої компоненти для опису аеродинамічних характеристик самопливів.

7. Бакуменко О.О. Аналітичне визначення потужності, необхідної для приводу ротора дискової луцильно-шліфувальної машини. // Зб. наук.пр. – Одеса: ОДАХТ, 2001. Вип.21. – С.127-131.

8. Гапонюк О.І., Бакуменко О.О., Подкалюк П.О. Моделювання динаміки виносу дрібнодисперсних частинок та квіткових оболонок зернових матеріалів у процесі луцення.// Хранение и переработка сырья. Ежемесячный научно-практический журнал. – 1999. №2.- С.10-11.

Автором проведено математичне моделювання виносу дрібнодисперсних частинок та квіткових оболонок зернових матеріалів з робочої зони луцильної машини.

9. Гапонюк О.І., Бакуменко А.А. Интенсификация процессов шелушения в абразивных шелушительных машинах.//Зб. Наук. Пр. – Одеса: ОДАХТ, 2002. Вип.22. – с. 345-350.

Автором розглянуті питання можливості інтенсифікації процесів обробки зерна в абразивно-дисковій луцильній машині шляхом поєднання процесів пневмосепарування та аспірації.

АНОТАЦІЯ

Бакуменко О.О. Інтенсифікація обробки зерна в абразивно-дисковій лушильній машині шляхом поєднання процесів пневмосепарування та аспірації.

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, Одеса, 2002.

Дисертацію присвячено питанням дослідження аеромеханіки абразивних лушильних машин з метою інтенсифікації обробки зерна. Обґрунтована необхідність усунення пиловидних оболонкок з робочої зони лушення шляхом застосування встроєних пневмосепараторів.

Проведено теоретичні дослідження та експериментальну перевірку кінематичних, динамічних, енергетичних залежностей та основних аеродинамічних параметрів процесу пневмосепарування, аспірації і пневмотранспорту відходів лушення з робочої зони.

Розроблена інженерна методика розрахунку, визначено раціональні характеристики процесів лушення та аспірації, отримано нову конструкцію лушильної машини, проведені її випробування.

Результати досліджень і розробок впроваджено в промислових умовах.

Ключові слова: пневмосепарування, лушення, аспірація, дискова лушильна машина, математична модель, впровадження.

АННОТАЦИЯ

Бакуменко А.А. Интенсификация обработки зерна в абразивно-дисковой шелушительной машине путем совмещения процессов пневмосепарирования и аспирации.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.18.12 – процессы и оборудование пищевых, микробиологических и фармацевтических произ-

водств, Одесская национальная академия пищевых технологий, Одесса, 2002 г. Защищаются 9 научных работ, которые содержат теоретические, экспериментальные исследования совмещения технологических процессов пневмосепарирования, шелушения зерна и аспирации абразивно-дисковых шелушительных машин.

Диссертация посвящена теоретическому и экспериментальному исследованию аэромеханики АЛМ с целью интенсификации процесса шелушения. В работе приведен анализ особенностей современных шелушительных машин. Сформулирована и доказана научная гипотеза, суть которой состоит в том, что путем совмещения процессов шелушения и организованного движения воздушного потока в рабочей зоне машины, интенсифицируется процесс шелушения посредством возникающего эффективно действующего механизма выноса отходов шелушения, одновременно

являющихся естественной "смазкой", находящейся в межзерновом пространстве и ухудшающей условия обработки, из рабочей зоны.

Решение поставленных задач проводилось путем качественного и количественного анализа

процессов пневмосепарирования, шелушения и аспирации, который представлен моделью пневмосепарирования с учетом условий, возникающих в рабочей зоне машины, геометрической, кинематической, динамической, аэродинамическими моделями движения материала и пылевоздушного потока в рабочей зоне машины.

Экспериментальные исследования осуществлялись на экспериментальной установке, позволяющей варьировать параметры в широких диапазонах с возможностью воспроизводства существующих промышленных режимов.

Комплекс экспериментальных исследований включал определение эжективных характеристик АШМ, работающей при разных кинематических режимах движения ротора, а также различных степенях герметизации укрытия АШМ, исследование аэродинамических характеристик машины, полученных при различных способах аспирации, различных кинематических и расходных по материалу режимах работы машины.

Аналитические зависимости, определяющие параметры шелушения, пневмосепарирования, аспирации, пневмотранспорта проверены в лабораторных и промышленных условиях.

Разработана инженерная методика расчета параметров АШМ, основанная на наборе блок-схем для расчета самостоятельных этапов: кинематических характеристик, динамических характеристик движения материала в рабочей зоне АШМ, характеристик выноса и пневмотранспортирования отходов шелушения из рабочей зоны, аэродинамических характеристик объектов, входящих в ТТЛ с учетом аэродинамических связей между ними.

На основе теоретических и экспериментальных исследований обоснованы оптимальные параметры комплексных пневмосепарационно-аспирационно-пневмотранспортных систем, удельные расходы воздуха, конструктивно-кинематические характеристики.

Проведенные исследования позволили усовершенствовать конструкцию абразивно-дисковой шелушильной машины и внедрить ее в производство.

Предлагаемая машина стала основой модульного комплекса для обработки злаковых и бобовых культур. Целесообразность эксплуатации указанного комплекса обоснована бизнес-планом, разработанным по методике Международного Банка Реконструкции и Развития.

Результаты исследований и разработок внедрены в цехе производства круп Овидиопольского завода продовольственных товаров Одесской области.

Ключевые слова: пневмосепарирование, шелушение, аспирация, дисковая шелушильная машина, математическая модель, внедрение.

SUMMARY

Bakumenko A.A. An intensification of processing of grain in abrasive husking mashine by combination of processes of pneumatic separation and aspiration.- Manuscript.

The thesis for competition of academic degree as a candidate of technical sciences on the specialty 05.18.12 "The processes and apparatus of food productions". Odessa national academy of Food Technologies, Odessa, 2002.

The dissertation is devoted to reseaching of air mechanics of rings husking machine to intensification of processing of grain. The need of eelimination of dust products from process zone by using of contained pneumatic separator.

It is executed the theoretical reseaching and experimental test of cinematic, dinamic, energy dependences and main airdinamic parameters of pneumatic separation, aspiration and pneumatic transport of emering products from process zone.

It is developed the engineer methodic of calculation, it is defined of rational characteristics of processes of husking and aspiration, it is received the new construction of rings husking machine, it is developed an industry tests.

The results obtained from research and development were implemented in industry at the Ovidiopol plant of food products.

Key words: pneumatic separation, husking, aspiration, rings husking machine, mathematical model, implementation.

Підписано до друку 15.11.2002 р. Формат 60x84 1/16
Обл.-вид.арк. 2,0. Замовлення № . Тираж 100 прим.
Відділ поліграфії та комп'ютерних технологій ОЦНТЕІ
65011, м. Одеса, вул. Рішельєвська, 28