

ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

ШИПКО ІГОР МИХАЙЛОВИЧ

УДК 664.762

УДОСКОНАЛЕННЯ ЛУЩИЛЬНО-ШЛІФУВАЛЬНОЇ МАШИНИ

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

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Одеса – 2004

Дисертацією є рукопис.

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

Науковий керівник: доктор технічних наук, доцент
Гросул Леонід Гнатович, Одеська національна академія харчових технологій, професор кафедри 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
Федоров Федір Олександрович, Державний науково-дослідний проектно-конструкторський інститут “Консервпромкомплекс”, заступник директора по науковій роботі та новій техніці

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

Захист відбудеться 13.05.2004 р. о 10-30 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.088.01 при Одеській національній академії харчових технологій за адресою: 65039, м. Одеса, вул. Канатна, 112.

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

Автореферат розісланий 09.04. 2004 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
доктор технічних наук, професор

Моргун В.О.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Процеси лушення зерна і шліфування ядра - основні при виготовленні більшості круп. Для культур з міцними зв'язками між оболонками та ядром застосовують луцильно-шліфувальні машини типу А1-ЗШН-3 та їх закордонні аналоги. Цим машинам притаманні такі недоліки:

- значна енергоємність процесу обробки;
- низька технологічна ефективність, що призводить до зростання кількості повторних операцій лушення-шліфування (до дев'яти, при переробці ячменю в крупу), а також до збільшення довжини технологічної лінії.

Значний вклад в розв'язання проблеми внесено вітчизняними вченими: С.С. Бакалом, Е.Н. Грінбергом, І.Р. Дударевим, Я.М. Жисліним, Я.Ф. Мартиненко та іншими. Досліджені ними процеси, обладнання та технології, утворені на основі цих процесів, дозволяють реалізовувати різні методи лушення зерна та шліфування ядра. Однак виробництво крупів із зерна з міцними зв'язками оболонок та ядра залишається найбільш складним та енергомістким внаслідок недостатньої досконалості обладнання для їх відділення. Враховуючи значні обсяги переробки зерна в крупу, обґрунтування нових процесів і режимів обробних операцій та створення перспективних луцильно-шліфувальних машин для їх реалізації з підвищеною технологічною ефективністю і зменшеними енерговитратами є актуальною проблемою.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Роботу виконано в рамках досліджень за програмою “Малогабаритна техніка та безвідходна технологія переробки сільськогосподарської сировини для фермерських і колективних господарств України”, затвердженої наказом № 68 Міністерства освіти України від 31.03.92 р., та планом роботи Проблемної науково-дослідної лабораторії Одеської державної академії харчових технологій (теми № 6/92-П та № 3/95-П, держреєстрація № 0196V004195).

Мета і задачі дослідження. Мета роботи – обґрунтувати режими процесів відділення оболонок зерна і розробити універсальну луцильно-шліфувальну машину (ЛШМ) з підвищеною технологічною ефективністю і зниженою енергоємністю. Поставлена мета визначила конкретні завдання досліджень:

- провести теоретичні і експериментальні дослідження процесів лушення-шліфування та визначення сил, що діють на зерно в процесі обробки;
- встановити сукупність факторів та характер їх впливу на процес лушення-шліфування в робочій зоні ЛШМ;
- створити математичну модель обробки зерна в ЛШМ;
- розробити методику, алгоритм та програму визначення технологічних режимів та конструктивних параметрів робочої зони ЛШМ, що забезпечують найменші питомі витрати

електроенергії при регламентованій якості готової продукції;

- провести виробничі випробування ЛШМ для перевірки та коригування рекомендованих процесів, обґрунтування режимів лушення та шліфування і проектних параметрів устаткування для їх реалізації.

Об'єкт дослідження – процес обробки зерна в дисковій луцильно-шліфувальній машині.

Предмет дослідження – конструктивно-функціональне рішення розподільно-напрямного пристрою (РНП) в міждисковому просторі луцильно-шліфувальної машини.

Методи досліджень. При виконанні роботи застосовано методи аналізу та синтезу процесів та робочих органів у луцильно-шліфувальних машинах. Використано методи математичного моделювання руху та силового навантаження зернового шару під дією робочих органів машини. Планування експериментів виконували методом греко-латинського квадрату, обробку експериментальних даних – методами дисперсійного та регресійного аналізів. Пошук оптимальних значень конструктивних та технологічних параметрів процесу лушення-шліфування виконували з допомогою метода статистичних випробувань. Показники якості зерна, ефективності процесу лушення-шліфування та оцінка продуктів лушення-шліфування визначалися за стандартними методами.

Наукова новизна одержаних результатів:

- створено математичну модель процесу обробки продуктів з визначенням геометричних та кінематичних параметрів робочих органів ЛШМ, що дало можливість розрахувати термін знаходження зернин в робочих зонах машини та її продуктивність;

- отримано аналітичні закономірності для визначення витрат енергії на процес лушення-шліфування в ЛШМ, які використано для розрахунку потужності привідного електродвигуна машини;

- визначено математичні залежності між витратами енергії на процес лушення-шліфування та якістю крупи, які дозволили розробити методику, алгоритм та програму оптимізації ЛШМ.

Практичне значення одержаних результатів:

- одержані результати аналітичних та експериментальних досліджень адаптовані для використання як при розробці енергоресурсозберігаючих технологічних процесів, так і при створенні перспективного луцильно-шліфувального устаткування;

- розроблена конструкція ЛШМ з розподільно-напрямним пристроєм, що дозволяє підвищити технологічну ефективність процесу лушення-шліфування і зменшити витрати енергії на виготовлення крупів.

За результатами виконаної роботи розроблена проектна документація і здійснено впровадження ЛШМ в агрегатну установку для виготовлення крупів на Вигодянському ХПП. Одержані результати використані при створенні малогабаритного крупорушального устаткування.

Особистий внесок здобувача полягає в одержанні всіх наведених у роботі наукових результатів; створенні нового теоретичного обґрунтування процесів та режимів відділення покривних тканин зерна в дискових ЛШМ, оснащених РНП; створенні експериментальної установки для вивчення процесу лушення-шліфування; проведенні експериментальних досліджень та обробці отриманих результатів; формулюванні висновків та пропозицій. На стадії впровадження результатів досліджень у виробництво дисертант приймав безпосередню участь у розробці конструкторської документації та промислових випробуваннях дослідно-промислового зразка ЛШМ.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи доповідались на щорічних наукових конференціях професорсько-викладацького складу та наукових співробітників ОДАХТ у 1990...2001 рр., на Всесоюзній науково-практичній

конференції “Вчені і спеціалісти в рішенні соціально-економічних проблем країни” (м. Ташкент, 1990 р.), на Міжнародній науково-практичній конференції “Ринок: бізнес, економіка, технологія” (м. Харків, 1992 р.).

Публікації. Основний зміст дисертації опубліковано у 12 друкованих роботах. У тому числі: 1 - стаття в наукових працях, 1 - в інформаційному листку ОЦНТІ, 2 - статті в наукових галузевих журналах, 2 - авторських свідоцтва, 1 - патент.

Структура та об'єм роботи. Дисертація складається з вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних бібліографічних джерел, який містить 131 найменування (на 12 стор.), та 11 додатків (на 33 стор.). Матеріал дисертації викладено на 202 сторінках тексту, містить 30 таблиць (на 11 стор.), 29 рисунків (на 14 стор.).

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність, мету та завдання дисертаційної роботи.

В першому розділі наведено аналіз літературних джерел науково-технічної літератури з проблеми лушення зерна. Розглянуто основні властивості зерна, що впливають на процеси лушення та шліфування. Наведено залежності мікротвердості оболонки та ендосперму від скловидності та вологості, а також залежності для визначення адгезії плодкових і насінневих оболонки пшениці. Показано зв'язки між коефіцієнтом внутрішнього тертя та мірою затухання переміщення при пошаровому сухому терті, які застосовано для визначення пошарової швидкості зерна в робочій зоні машини. Властивості зерна враховували при побудові математичної моделі процесу лушення-шліфування. При аналізі критеріїв оцінки ефективності процесів лушення та шліфування показано, що існуючі критерії більш підходять для оцінки якості результатів процесів відділення оболонки із зерна, у якого оболонки не зрощені з ядром. Наявність двох критеріїв (одного для оцінки результатів лушення, а другого – для оцінки результатів шліфування) не дозволяє однозначно визначати основні технологічні режими та конструктивні параметри робочої зони ЛШМ. На основі проведеного аналізу вказано на необхідність розробки одного критерія оцінки результатів лушення-шліфування для проведення оптимізації параметрів процесу в робочій зоні ЛШМ.

Аналіз обладнання для відділення оболонки дозволив зробити висновок, що лушення зерна та шліфування ядра культур з міцними зв'язками оболонки найбільш ефективно відбувається в дискових ЛШМ. Подальше підвищення ефективності цих машин можливе на основі оптимізації конструктивних параметрів робочої зони машини і технологічних режимів обробки зерна. Аналіз досліджень С.С. Бакала, Е.Н. Грінберга, І.Р. Дударева, Я.М. Жисліна І.В. Настагуніна, П.П. Тарутіна, підтвердив необхідність обґрунтування положень та напрямків розробки математичної моделі процесу в робочій зоні дискової ЛШМ. Проводячи аналогію між процесами шліфування металів, абразивного зношування та процесом лушення-шліфування, на основі робіт І.В. Крагельського та Г.Д. Полосаткіна, визначено основні фактори дії робочих органів машини на зерно. Аналіз результатів випробувань ЛШМ дозволив з'ясувати, що на процес лушення-шліфування витрачається понад 70% енергії, необхідної для виробництва круп із зерна з міцними зв'язками оболонки та ядра. Так, при переробці ячменю, для отримання крупів зольністю (1,10... 1,15)% необхідно виконати більше п'яти пропусків крізь дискову ЛШМ, при питомих витратах енергії - 75 кВт·г/т. Значна кількість послідовних операцій лушення та шліфування суттєво ускладнює схему технологічного процесу виготовлення крупів із зерна з міцними зв'язками оболонки та ядра, особливо в умовах малих підприємств. За результатами аналізу конструкцій і виробничих випробувань запропоновано напрямки удосконалення ЛШМ. У зв'язку з неповним використанням робочих поверхонь абразивних дисків, та неможливістю забезпечити їх

рівномірне навантаження пропонується застосування РНП в робочій зоні ЛШМ з метою підвищення технологічної ефективності і зменшення енергоємності процесу лущення-шліфування. РНП розташовують між ситовим циліндром 2 та валом 4 (рис.1). РНП складається з лійки 1, що направляє зерновий потік на торець абразивного диска 3, встановленого на маточині 5. На зовнішній поверхні і в середині лійки закріплено гальмові лопаті 6 і 7. Гальмові лопаті призначені запобігати сумісному обертанню зерна і абразивного диска та інтенсифікації процесу лущення-шліфування. В основу наукової концепції дисертаційної роботи покладено тези про наявність оптимальних зв'язків між результатами обробки поверхні зерна, характером його навантаження та режимами процесу лущення-шліфування, геометрією і кінематикою робочих органів машини. На основі проведеного аналізу науково-технічної літератури сформульовано мету та задачі дослідження.

В другому розділі наведено моделювання процесів руху і силового навантаження зернин під дією абразивної поверхні диска, ситового циліндру та РНП машини. Для виконання математичного аналізу процесу лущення-шліфування по висоті робочого об'єму машини виділено чотири перехідні зони (рис.1):

I – зона утворена між гальмовою лопаттю і напрямною лійкою;

II – зона між торцевою поверхнею абразивного диска і гальмовою лопаттю;

III – зона між боковою поверхнею абразивного диска і ситом;

IV – зона під абразивним диском і внутрішньою поверхнею напрямної лійки.

Форма зернового шару між двома суміжними гальмовими лопатями приймається у вигляді зернового клина, обмеженого двома площинами лопатів і конічною вільною поверхнею зерна (рис.2).

Розв'язання загальної системи рівнянь руху виконано за такою методикою побудови поля швидкостей:

1. Радіальна компонента V_r швидкості визначається з рівняння витрат матеріалу крізь будь-яку циліндричну поверхню робочої зони:

$$\int_0^{2\pi} \int_0^{f\phi(R-r)} r \rho V_r d\phi dz = Q \quad ; \quad (1)$$

2. Осьова швидкість V_z знаходиться з рівняння суцільності потоку

$$\frac{V_r}{r} + \frac{\partial V_r}{\partial r} + \frac{\partial V_z}{\partial z} = 0 \quad ; \quad (2)$$

з відомою радіальною швидкістю для осесиметричної задачі. Осесиметрична задача приймається виходячи з штучної апроксимації поля швидкостей. Таким чином одержано формули:

$$V_r = \frac{a}{r(R-r)} \exp\left(-\frac{\epsilon z}{R-r}\right); \quad (3)$$

$$V_z = \frac{az}{r(R-r)^2} \exp\left(-\frac{\epsilon z}{R-r}\right), \quad (4)$$

де a – об'ємна продуктивність, ($\text{м}^3/\text{с}$);

ϵ – коефіцієнт пропорційності, що враховує залежність осьової швидкості від висоти шару зерна над поверхнею диска;

3. Колова швидкість V_H зерна (відсутня в першій зоні) залежить від двох параметрів:

ω_0 – абсолютної кутової швидкості зерна на поверхні диска;

k – коефіцієнту затухання, що враховує відстань зернини від поверхні диска.

Цей параметр виникає як коефіцієнт пропорційності в робочій гіпотезі: зміна кутової швидкості $\Delta\omega$ зворотньопропорційна добутку коефіцієнта затухання k , кутової швидкості зернин на поверхні диску ω та висоти шару зерна над поверхнею диска ΔZ

$$\Delta\omega = -k\omega\Delta Z \quad (4)$$

Інтегруючи рівняння (4) отримали формули кутової та колової швидкостей зерна:

$$\omega = \omega_0 \exp(-kZ), \quad V_\theta = \omega_0 r \exp(-kZ) \quad (5)$$

Параметри в формулах (5) отримали за допомогою виразу полярного кута, диференціал якого визначається з поля швидкостей. Головне рівняння зв'язку між абсолютною кутовою швидкістю ω_0 , коефіцієнтом затухання k , середніми значеннями полярного кута u та терміном знаходження в другій зоні входить в алгоритм розрахунку параметрів кутової швидкості зерна.

З метою аналітичного розв'язання задачі напруженого стану зернового шару прийнято допущення:

- найбільшим головним напруженням є нормальне напруження на площадку осьової площини (це допущення приймається з умови, що найбільший опір руху утворює вертикальна поверхня гальмових лопатів);

- трьохвісний еліпсоїд напруження подається у вигляді еліпсоїда обертання, у якого

$$\sigma_1 = \sigma_2 < \sigma_3 = \sigma_{\varphi\varphi} \quad (6)$$

Динамічна модель зернового шару побудована на рівнянні руху в проєкціях на вертикальну вісь Z . Теоретичні дослідження і розрахунки на базі експериментальних даних показали, що параметр “ ϵ ” мало відрізняється від нуля. Тоді рівняння (3) значно спрощуються завдяки можливості прийняти $\epsilon = 0$, тобто:

$$V_r = \frac{a}{r(R-r)}, \quad V_z = \frac{az}{r(R-r)^2} \quad (7)$$

Побудована динамічна модель дала змогу визначити горизонтальне напруження, яке потрібне для розрахунків опору зсуву. Термін перебування зерен в робочій зоні можна розрахувати на основі характеристик поля швидкостей і траєкторій. Середню траєкторію зерна в кожній зоні отримано з середніх координат точок входу та виходу зернового потоку. Середні координати розраховані методом геометричних імовірностей. Таким чином знайдено формули для розрахунків терміну перебування зерен в трьох зонах.

Потужність приводу ротора машини визначена як добуток середньої кутової швидкості зернового шару та головного моменту зовнішніх сил, які діють на його границях. Основним співвідношенням при побудові алгоритму розрахунків потужності приводу є теорема про кінетичний момент системи.

У третьому розділі наведено програму експериментальних досліджень, складену у відповідності з задачами роботи, опис експериментальної установки, методики дослідження, статистичного аналізу, планування та обробки дослідних даних. Подано результати експериментальних досліджень для перевірки адекватності математичної моделі обробки зерна в робочій зоні ЛШМ реальному процесу та встановлення допоміжних зв'язків між параметрами машини. Для цього порівнювали енергетичні характеристики луцильно–шліфувальної машини з даними, що одержані за теоретичними формулами математичної моделі, а також оцінювали якість крупів, для яких було спеціально визначено критерій технологічної ефективності E

$$E = \sqrt[3]{E_B \cdot E_3 \cdot E_D} \quad (8)$$

де E_B , E_3 , E_D – відповідно локальні критерії технологічної ефективності, що враховують вихід, зольність та міру подрібнення крупів у машині. Значення локальних критеріїв технологічної ефективності обчислювали методом шкалювання Хейнца Аренца та Юргена Льюїтера на базі експертної оцінки зразків круп, отриманих на експериментальній установці. Досліди виконували на експериментальній установці, що оснащена трьома абразивними дисками розміром 250x76x35мм, зернистістю № 80 (рис.3). Між ситовим циліндром 5 і валом 3 установлені РНП 2. Для запобігання утворенню склепінь в збірно-виводній лійці та порушенню рівномірності розвантажування робочої зони машини розроблено конструкцію дроселюючого пристрою 6, який розташовували під нижнім абразивним диском в зоні найбільшого тиску зерна. Регулювання пропускної спроможності машини здійснювали зміною площі перерізу отворів дроселюючого пристрою поворотною рукояткою. Для відділення оболонок після обробки зерна в робочій зоні машини конструкцією передбачено аспіраційну колонку 7 та вентилятор 8. Потрібну частоту обертання ротора встановлювали заміною шківів клинопасової передачі.

Над кожним диском розміщували РНП, оснащений верхніми і нижніми гальмовими лопатями. Під час експерименту досліджувалась залежність кількості відділених оболонок $O_{ш}$, подрібнених зерен D_p , зольність продукту Z_k та потужність приводу ротору P від вхідних факторів: частоти обертання ротора ω , продуктивності Q , кількості гальмових лопатів над абразивними кругами K_n , кількості гальмових лопатів K_g , що розташовані в середині лійки РНП. Діапазон варіювання факторів обирали з попереднього аналізу літературних джерел у галузі лущення-шліфування та за результатами попередніх дослідів, урахувавши сумісність їх комбінацій.

Експеримент проводили за схемою греко-латинського квадрата, що дало змогу зменшити кількість дослідів і отримати багатофакторні залежності між визначаючими параметрами і вхідними факторами. Обробку експериментальних даних проводили методом Брандона. Це дозволило виділити вплив кожного фактора на результати експерименту. Ранжування впливу на поверхню відгуку виконували за допомогою дисперсійного аналізу. Дисперсії, привнесені в експериментальні дані кожним фактором, порівнювали між собою та з дисперсією похибки. Так було встановлено, що найбільший вплив на потужність і кількість відділених оболонок чинить частота обертання ротора ω та продуктивність Q (рис. 4 а, в). При збільшенні інтенсивності обробки поверхні зерна зменшується зольність крупи Z_k та підвищується приріст подрібнених зерен D_p (рис. 4 б, г). Значно менше впливає кількість гальмових лопатів над абразивним диском K_n . Наявність гальмових лопатів K_g , що розташовані в середині лійки РНП, суттєво на дані експерименту не впливає. Результати дисперсійного аналізу враховували при проведенні регресійного аналізу, встановлюючи послідовність пошуку апроксимуючих функцій. В результаті отримали функціональні залежності параметрів від факторів:

$$Z_k(\omega, Q, K_n) = 1,65 \exp(4,549Q - 6,015 \cdot 10^{-3} \omega - 1,019 \cdot 10^{-2} K_n); \quad (9)$$

$$D_p(\omega, Q, K_n) = 0,503 \exp(1,405 \cdot 10^{-2} \omega - 11,475Q + 8,623 \cdot 10^{-3} K_n); \quad (10)$$

$$O_{ш}(\omega, Q, K_n) = 1,03 \cdot 10^{-4} \omega^2 Q^{-0,5} \exp(1,42 \cdot 10^{-2} K_n); \quad (11)$$

$$P(\omega, Q, K_n) = 2013,6 \exp(7,26 \cdot 10^{-3} \omega - 1,57 Q + 2,5 \cdot 10^{-2} K_n). \quad (12)$$

В результаті проведених експериментальних досліджень отримані значення технологічного критерія ефективності процесу лущення-шліфування в залежності від питомих витрат енергії. Обробка даних експерименту методами математичної статистики дозволила встановити наявність тісного кореляційного зв'язку між дослідженими величинами. Наявність такого зв'язку пояснюється напруженим станом сипкого матеріалу при деформуванні зерен. Так, при малих

питомих витратах енергії напруження на площинах контакту зерен з робочими органами не достатні для травмування покривних тканин, що призводить до перемішування матеріалу без ефекту лущення. При великих витратах енергії мають місце такі контактні зусилля, коли відривається не тільки оболонка, але руйнуються ядра. Це призводить до збільшення кількості подрібнених зерен і зменшує вихід крупи. Тому для опису кривої $E(N)$, що має один максимум і дві ділянки монотонності, була обрана функція

$$E(N) = A \cdot N^C \cdot \exp(-bN) \quad (13)$$

Виконані на ПЕОМ розрахунки дозволили апроксимувати числові значення коефіцієнтів критеріального рівняння (13). Для пшениці $A=0,0361$, $C=1,17$, $b=0,0252$. Отримані результати використовували при оптимізації конструктивних параметрів робочої зони ЛШМ та технологічних режимів процесу лущення-шліфування.

У четвертому розділі визначено критерій оптимізації процесу лущення-шліфування у робочій зоні машини. Критерієм оптимізації обрано питомі енерговитрати N на процес обробки зерна, при умові, що загальний критерій ефективності E , та продуктивність Q задовольняють вимогам виробництва крупів. Використовуючи рівняння продуктивності та потужності знайшли залежність між питомими витратами енергії на процес лущення-шліфування та конструктивними, кінематичними параметрами і технологічними режимами обробки. Алгоритм визначення конструктивних та кінематичних параметрів машин побудовано на мінімізації значення N . Для цього вводили матрицю інцидентів, яка віддзеркалює вплив кожного фактора на вихідні параметри машини. Матрицю інцидентів разом з формулами другого розділу використовували для складання алгоритму визначення оптимальних конструктивних та кінематичних параметрів машини. Головною підпрограмою розрахунків є генерація випадкових значень вхідних факторів за методом Монте-Карло. Той набір значень параметрів, при якому $Q > Q_0$, $E > E_0$, а $P < P_0$ (де Q_0 , E_0 , P_0 – опорні величини продуктивності, технологічної ефективності та потужності), вважається оптимальним. На основі розрахунків та експериментальних досліджень рекомендовано параметри роботи ЛШМ: колова швидкість абразивних дисків 19,5 м/с, робочий зазор між торцевою поверхнею абразивного диску та гальмовими лопатями 10 мм, кількість гальмових лопатів 4, кут нахилу твірної направляючої лійки РНП до горизонту 30°.

У п'ятому розділі описано програму, методику та результати виробничих випробувань дослідного зразка ЛШМ на Вигодянському ХПП Одеської області. Машина виготовлена за результатами наших теоретичних та експериментальних досліджень Вінницьким ПКТИ. Робоча зона машини складається з чотирьох абразивних дисків розмірами 250x76x35мм, зернистістю № 80, встановлених в середині ситового циліндру. Між абразивними дисками закріплювали РНП. Для покращання доступу до абразивних дисків та РНП було передбачено можливість виведення робочої зони за межі машини, використанням поворотного кронштейну під час її обслуговування. Це досягалось в результаті виконання вала машини у вигляді розбірної конструкції. Для зменшення загальної висоти машини, та підвищення надійності роботи розвантажувального пристрою, в машині застосовано дисковий відцентровий розвантажувач, який разом з дросельною поворотною заслонкою з рівномірно розподіленими отворами, забезпечив безперервне виведення продуктів лущення-шліфування в аспіраційну колонку. Випробування ЛШМ здійснено на виробничій лінії виготовлення крупів з зерна пшениці, ячменю та гороху. Лінія складалась з ЛШМ 5, повітряного сепаратора 6, вальцьового верстата 7, сепаратора-класифікатора 8, магнітних сепараторів 3, оперативних бункерів 4, норій (рис. 6). Аспірацію робочої зони ЛШМ та очищення повітря здійснювали вентилятором 1 та циклоном 2. Технологічна схема лінії передбачає можливість руху продукту крізь ЛШМ та повітряний сепаратор по замкнутому контуру декілька разів до досягнення необхідного технологічного ефекту. Вимірюваннями визначено, що

продуктивність машини в залежності від положення дроселюючої заслонки регулювалась від 250 до 500 кг/г. При цьому потужність, що споживалась електродвигуном з електромережі змінювалась від 6,0 до 3,2 кВт (рис. 8). Питома енергоємність лушення-шліфування зростає при зменшенні продуктивності машини та збільшенні повторних операцій обробки зерна (рис. 7).

В результаті випробувань встановлено залежності виходу крупів B_k , приросту подрібнених зерен D_p , зольності крупів Z_k , виходу відходів лушення-шліфування $O_{ш}$ (рис. 9) та потужності на привід ротору P від продуктивності Q машини (рис. 8). Отримані результати апроксимували на ПСОМ. Аналіз отриманих рівнянь дозволив визначити технологічно раціональні режими обробки зерна пшениці та ячменю. Для пшениці якісне відділення оболонки досягається в результаті трикратної обробки зерна в ЛШМ з продуктивністю по зерну 350 кг/г. При цьому вихід крупки складає 81,2%, подрібнення не перевищує 5,8%, зольність зменшується з 1,65 до 1,18%. Питомі витрати енергії на процес лушення-шліфування становлять 35,7 кВт·г/т, загальний критерій технологічної ефективності E складає 0,75. Для ячменю якісне відділення оболонки досягається при чотирикратній обробці в ЛШМ з продуктивністю по зерну 430 кг/г. Вихід пенсаку становить 67,0%. Подрібнення не перевищує 8,3%, зольність зменшується з 2,37% до 1,28%. Загальний критерій технологічної ефективності лушення-шліфування E складає 0,56. Питомі витрати енергії становлять 45,0 кВт г/т. Також були проведені дослідження з метою з'ясування можливості лушення і шліфування гороху в дослідному зразку машини. В результаті проведених досліджень встановлено, що загальний вихід крупки становить 80,4%. Вихід цілого гороху 43,8%, колотого 36,6%. Такий результат досягається при трикратній обробці в машині з продуктивністю 380 кг/г. Питомі витрати енергії становлять 30,0 кВт· г/т. Використовуючи дані аналітичних розрахунків та експериментальних випробувань ЛШМ, за допомогою програми оптимізації отримано алгоритми визначення конструктивних параметрів і технологічних режимів для різних умов виробництва в круп'яній промисловості, які гарантують високий вихід продукції при мінімальних витратах електроенергії та регламентованій якості готової продукції.

ВИСНОВКИ:

1. Проведеними дослідженнями встановлено, що відносно низька технологічна ефективність (40...60%) та висока питома енергоємність (38,6...55,0 кВт·год/т) процесів лушення-шліфування обумовлена конструктивними недоліками ЛШМ та неповним використанням активної площі робочої поверхні абразивних дисків. В робочій зоні дискових машин відсутні пристрої для забезпечення оптимальних режимів обробки. За результатами аналітичних та експериментальних досліджень ЛШМ запропоновано конструкцію РНП, яка передбачає застосування раціональних режимів для високоефективного лушення-шліфування зерна при його переробці в крупки.

2. Створено математичну модель процесу лушення-шліфування на основі закономірностей (5, 7) руху та силового навантаження шарів зерна під дією робочих органів. Розроблена методика розрахунку геометричних, кінематичних та енергетичних параметрів абразивно-дискових ЛШМ.

3. Отримано рівняння залежності якості крупки від питомої енергоємності процесу лушення-шліфування (13), яке дозволило розробити методику, алгоритм та програму оптимізації технологічних режимів процесу лушення-шліфування та конструктивних параметрів робочих органів ЛШМ.

4. Одержано рівняння (9, 10, 11, 12) регресії, які моделюють залежності зольності крупки, приросту подрібнених зерен, утворення відходів лушення-шліфування та потужності на привід машини від продуктивності, кутової швидкості обертання ротора та кількості гальмових лопатів

РНП, які придатні для використання в інженерній практиці при створенні конструктивно-функціональних рішень робочих органів ЛШМ.

5. Обґрунтовано робочі параметри ЛШМ: колова швидкість абразивних дисків 19,5 м/с, робочий зазор між торцевою поверхнею абразивного диску та гальмовими лопатями 10 мм, кількість гальмових лопатів 4, кут нахилу твірної направляючої лійки РНП до горизонту 30°.

6. Випробуваннями ЛШМ встановлено, що за рахунок використання РНП досягається зменшення питомих витрат енергії на процес лушення-шліфування:

- при виготовленні пшеничної крупи на 7,5 %;
- при виготовленні ячної крупи на 18,2%;
- при виготовленні горохової крупи на 20,1%.

7. Виробничі випробування дослідного зразка ЛШМ підтвердили високу технологічну ефективність процесу лушення-шліфування в машині. Встановлено, що порівняно з нормами, регламентованими “Правилами організації і ведення технологічних процесів на круп’яних заводах”, при переробці пшениці в крупи загальний вихід круп збільшується на 18,2%. При переробці гороху загальний вихід крупів збільшується на 3,4%. При переробці ячменю досягнуто регламентованого виходу ячневих крупів.

8. Розроблена на основі аналітичних та експериментальних досліджень конструкція дискової ЛШМ пристосована до використання у виробництві крупів із зерна ячменю, пшениці та гороху в умовах фермерських господарств і малих підприємств по переробці сільськогосподарської сировини.

Список опублікованих праць за темою дисертації

1. Шипко І.М., Поляков В.Я., Гросул Л.Г. Малогабаритне устаткування для переробки зерна // Харчова і переробна промисловість. - 1992. - №8. - С.27.

Автором сформульовані основні вимоги до малогабаритного устаткування.

2. Гапонюк О.І., Бакуменко О.О., Подкалюк П.О., Шипко І.М. Луцильно-шліфувальна машина // Зерно і хліб.- 1999.- №2. - С.41.

Автором наведені технічні характеристики луцильно-шліфувальної машини, отримані в результаті лабораторних випробувань.

3. Шипко І.М. Технологічний критерій ефективності процесу лушення-шліфування // Зб. наук. пр. ОДАХТ. – Одеса: ОДАХТ, - 2001. – Вип. 21. – С.168.

4. Шелушильно-шлифовальная машина: А. с. 1708406 СССР, МКИ В02 В3/02 / Л.И.Гросул, В.В.Трубов, М.В.Рыбников, С.В.Инютин, И.М.Шипко и Г.З.Чеботаряну (СССР).-№4836202/13; Заявлено 25.04.90; Опубл. 30.01.92, Бюл.№14.- 6 с.

Автором запропоновано використання дискових розподільно-напрямних пристроїв луцильно-шліфувальних машин, з метою підвищення ефективності лушення.

5. Шелушильно-шлифовальная машина для зерна: А. с. 1761258 СССР, МКИ В02 В3/02 / Л.И.Гросул, И.Р.Дударев, М.В.Рыбников, и И.М.Шипко (СССР).-№4896810/13; Заявлено 27.12.90; Опубл. 15.09.92, Бюл.№34.- 4 с.

Автором запропоновано встановити гальмові лопаті на розподільно-напрямному пристрої під кутом до торцевої поверхні абразивного диску. Таке рішення дозволяє збільшити тиск зерна на торцеві поверхні абразивного диска, з метою підвищити інтенсивність обробки поверхні зерна.

6. Пат. 16612 Україна, МКИ В02 В3/02. Луцильно-шліфувальна машина / Л.Г. Гросул, В.В. Трубов, М.В. Рыбников, С.В. Инютин, И.М. Шипко и Г.З. Чеботаряну (Україна); ОГАПТ.- №4836202; Заявл. 25.04.90; Опубл. 29.08.97; Бюл. №4.- 4 с.

Автором запропоновано використання дискових розподільно-напрямних пристроїв луцильно-шліфувальних машин, з метою підвищення ефективності лушення.

7. Шелушильно-шлифовальная машина / Гросул Л.И., Шипко И.М.- Инф. Л. №297-95 ОЦ-

НТиЭИ.- Одесса: ОЦНТиЭИ. - 1995.- 4 с.

Автором запропоновано будову дискової луцильно-шліфувальної машини з розподільно-напрямним пристроєм.

8. Гросул Л.И., Шипко И.М. Обоснование конструктивно-функциональных решений малогабаритных шелушильно-шлифовальных машин // Труды 52-й научн. конф. ОТИПП – Одесса: ОТИПП. - 1992.- С.132.

Автором виконано узагальнення експериментальних досліджень впливу конструктивних, кінематичних і технологічних параметрів робочої зони луцильно-шліфувальної машини на показники якості обробки зерна та енергоємність процесу.

9. Гросул Л.И., Поляков В.Я., Шипко И.М. Обоснование конструкции и параметров малогабаритной агрегатной установки для выработки крупы из пшеницы // Труды 53-й научн. конф. ОТИПП – Одесса: ОТИПП. - 1993.- С.154.

Автором наведено основні технічні характеристики луцильно-шліфувальної машини.

10. Гросул Л.И., Шипко И.М. Обоснование параметров шлифовальной машины // Труды 54-й научн. конф. ОТИПП – Часть 2.- Одесса: ОТИПП. - 1994.- С.16.

Автором проведено узагальнення результатів експериментальних досліджень, наведено рівняння залежності відходів луцилення-шліфування, та потужності двигуна від досліджених факторів.

11. Гросул Л.И., Шипко И.М. К расчету шелушильно-шлифовальных машин // Труды 55-й научн. конф. ОГАПТ. – Часть 1. – Одесса: ОГАПТ. - 1995.- С.125.

Автором наведено рівняння залежності інтенсивності обробки зерна в робочій зоні машини від основних визначальних факторів.

12. Шипко И.М., Гросул Л.Г. Результаты впровадження луцильно-шліфувальної машини у виробництво // Труды 56-й научн. конф. ОГАПТ. – Часть 1. – Одесса: ОГАПТ. - 1996.- С.100.

Автором проведено узагальнення результатів виробничих випробувань луцильно-шліфувальної машини.

АНОТАЦІЯ

Шипко І. М. Удосконалення луцильно-шліфувальної машини. - 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, Одеса, 2003.

Дисертація містить теоретичні і експериментальні дослідження процесу луцилення-шліфування зерна. Розроблена математична модель процесу в робочій зоні дискової луцильно-шліфувальної машини (ЛШМ). Отримані аналітичні залежності між конструктивними параметрами робочої зони, технологічними режимами процесу і потужністю приводу. Встановлено математичну залежність між показниками якості пшеничної крупки та питомою енергоємністю. Виведено аналітичні залежності для визначення траєкторій руху зерна і складових його результуючої швидкості в машині. Розроблена методика розрахунку продуктивності дискової ЛШМ. Запропоновано алгоритм і програму розрахунку оптимальних конструктивних параметрів робочої зони і її технологічних режимів. Розроблена конструкція дослідного зразка дискової ЛШМ. Наведені результати виробничих випробувань розробленої машини.

Ключові слова: луцилення, шліфування, зерно, потужність, продуктивність.

АННОТАЦИЯ

Шипко И. М. Усовершенствование шелушильно-шлифовальной машины.

-Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности

05.18.12 – процессы и оборудование пищевых, микробиологических и фармацевтических производств. – Одесская национальная академия пищевых технологий, Одесса, 2003.

Диссертация содержит результаты теоретических и экспериментальных исследований, направленных на усовершенствование абразивно-дисковой шелушительно-шлифовальной машины (ШШМ).

Выполнен анализ литературных источников. Рассмотрены основные свойства зерна, влияющие на процессы шелушения и шлифования. Выполнен критический анализ критериев оценки эффективности процессов шелушения и шлифования. Указано на необходимость разработки единого критерия оценки результатов процесса шелушения-шлифования, необходимого для последующей оптимизации технологических режимов и конструкции рабочей зоны машины. Приведены результаты испытаний ШШМ. Проведенными исследованиями установлено, что относительно низкая технологическая эффективность (40...60%) и высокая удельная энергоемкость (38,6...55,0 кВт·ч/т) процессов шелушения-шлифования обусловлена конструктивными недостатками ШШМ и неполным использованием активной площади рабочей поверхности абразивных дисков. Предложены направления совершенствования абразивно-дисковых ШШМ. По результатам аналитических и экспериментальных исследований ШШМ предложена конструкция распределительно-направляющего устройства (РНУ), которая предусматривает применение рациональных режимов для высокоэффективного шелушения-шлифования зерна при его переработке в крупы. На основе проведенного анализа научно-технической литературы сформулированы цель и задачи исследования.

Целью работы является обоснование процессов и режимов отделения покровных тканей зерна и разработка ШШМ с повышенной технологической эффективностью и сниженной энергоемкостью.

Проведено моделирование процессов движения и силового нагружения зерна в рабочем объеме машины. Для упрощения математического анализа процесса шелушения-шлифования, по высоте рабочего объема выделено четыре переходные зоны. Получены выражения для определения осевой, радиальной и окружной скоростей зернового потока. Установленные закономерности движения и силового нагружения слоев зерна под действием рабочих органов были использованы для создания математической модели процесса шелушения-шлифования, а ее аналитические и экспериментальные исследования позволили разработать методику расчета геометрических, кинематических и энергетических параметров абразивно-дисковых ШШМ. Разработана методика построения поля скоростей зернового слоя. Приведены выражения для расчета времени нахождения зерна в рабочих зонах. Мощность привода ротора машины определена как произведение средней угловой скорости зернового слоя и главного момента внешних сил, действующих на его границах.

Представлены программа, методики экспериментальных исследований и статистического анализа. Описана экспериментальная установка и представлены результаты исследований. Определен комплексный критерий технологической эффективности, учитывающий выход, зольность и приращение дробленых зерен в процессе обработки в машине. Получены уравнения зависимости количества отходов шелушения-шлифования, измельченных зерен, зольности крупы и мощности привода ротора от конструктивных параметров и технологических режимов машины. На основе экспериментальных исследований получено уравнение зависимости критерия технологической эффективности крупы от удельной энергоемкости процесса шелушения-шлифования, позволившее разработать методику, алгоритм и программу оптимизации технологических режимов процесса шелушения-шлифования и конструктивных параметров рабочих органов ШШМ.

Получены уравнения регрессии моделирующие зависимости зольности крупы, приращения дробленых зерен, образования отходов шелушения-шлифования и мощности привода машины от производительности, угловой скорости вращения ротора и количества тормозных лопаток РНУ

применимые для использования в инженерной практике при создании конструктивно-функциональных решений рабочих органов ШШМ.

Проведена оптимизация параметров рабочей зоны машины. Алгоритм расчета оптимальных параметров машины основан на минимизации удельной энергоемкости процесса шелушения-шлифования, при условии заданной производительности и технологической эффективности. Обоснованы рабочие параметры ШШМ: угловая скорость абразивных дисков 19,5 м/с, рабочий зазор между торцевой поверхностью абразивного диска и тормозными лопатками 10 мм, количество тормозных лопаток 4, угол наклона образующей направляющей воронки к горизонту 30°.

Проведены производственные испытания опытного образца дисковой ШШМ. Приведена технологическая схема включения ШШМ в линию производства круп из зерна пшеницы, ячменя и гороха. В результате испытаний подтверждены высокая технологическая эффективность и снижение удельной энергоемкости процесса шелушения-шлифования при производстве круп из пшеницы, ячменя и гороха. Разработанная на основе аналитических и экспериментальных исследований конструкция дисковой ШШМ может использоваться в производстве круп из зерна ячменя, пшеницы и гороха в условиях фермерских и малых предприятиях по переработке сельскохозяйственного сырья.

Ключевые слова: шелушение, шлифование, зерно, мощность, производительность.

ABSTRACT

Shipko I.M. Improvement shelling-grinding machine. - Manuscript.

Thesis on competition of a scientific degree of the candidate of engineering sciences on a specialty 05.18.12-processes and mechanisms of food, microbiological and pharmaceutical productions. - Odessa nationality academy of food technologies, Odessa, 2003.

Thesis is kept theoretical and experimental researches process shelling-grinding grain. Have been designed mathematical process models in work zone disk shelling-grinding machine (SGM). Have been received analytical dependencies between constructional parameters work zone, technological regime process and power drive. Have been ascertained mathematically dependencies between index quality wheaten grouts and specific energy-capacity. Was ascertained analytical dependence for definition trajectory motion grain and components its resultant velocity in machine. Was taken out methodic calculation productivity disks SGM. Was proposed algorithm and program calculations of optimal construction parameters work zone and its technological regimes. Have been proposed designed construction industrial model disk SGM. Was proposed results of industrial test designed machine.

Key words: shelling, grinding, grain, power, productivity.

Підписано до друку 23.03.04. Формат 60×84 1/16
Об. – вид. арк. 1,25. Тираж 100 прим. Замов. №53
Віддруковано ЦНТЕПІ ОНЮА
вул. Рішельєвська, 28, т. 724-07-20.