

ТАВРІЙСЬКА ДЕРЖАВНА АГРОТЕХНІЧНА АКАДЕМІЯ

КУЗНЕЦОВ Ілля Олегович

УДК [631.234: 628.97]: 635.64

**ОБҐРУНТУВАННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ
МАГНІТНОГО ВИЛУЧЕННЯ ПРОДУКТІВ ЗНОСУ
РОБОЧИХ ОРґАНІВ ОБЛАДНАННЯ ІЗ ПОТОКІВ
ДРОБЛЕНОГО ЗЕРНА**

Спеціальність 05.09.16 - електротехнології та електрообладнання в агропромисло-
вому комплексі

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Мелітополь - 2006

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Таврійській державній агротехнічній академії Міністерства аграрної політики України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент **Масюткін Євген Петрович**, Керченський державний морський технологічний університет, ректор.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор **Черенков Олександр Данилович**, Харківський національний технічний університет сільського господарства, професор кафедри загальної електротехніки

кандидат технічних наук, доцент **Орловський Ігор Анатолійович**, Запорізький національний технічний університет, доцент кафедри електропривода і автоматизації промислових установок

Провідна організація:

Національний аграрний університет Кабінету Міністрів України (м. Київ)

Захист відбудеться "15" грудня 2006 року о 13 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 18.819.01 у Таврійській державній агротехнічній академії за адресою: 72312, Запорізька область, м. Мелітополь, пр. Б.Хмельницького, 18.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Таврійської державної агротехнічної академії за адресою: 72312, Запорізька область, м. Мелітополь, пр. Б.Хмельницького, 18.

Автореферат розісланий "13" листопада 2006 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Діордієв В.Т.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В різних технологічних лініях переробки зернових на продукти їхнього часткового розмолу (наприклад, різні крупи) або повного дроблення (борошно) бере участь сукупність машин.

У процесі переробки, починаючи від прийому й завершуючи упакуванням, робочі органи устаткування піддаються зношуванню - зокрема стиранню, відколюванню. Через те, що основним матеріалом, застосовуваним для їхнього виготовлення служать сталь і чавун (більшою мірою), у результаті зношування в готову продукцію потрапляють дрібні частки металів (феромагнетиків), маса яких для всіх зернових круп, а так само борошна регламентується ДСТУ і становить 3 мг/кг. У свою чергу обстеження сільгосп підприємств по переробці зерна в крупи або борошно показали фактичне перевищення норми на 10-20%. Недотримання цих вимог спричиняє відбраковування продукції і як наслідок - її фактичне здешевлення за рахунок використання в комбікормах.

У цей час більша частина технологічних ліній укомплектована магнітними сепараторами, оснащеними постійними магнітами або електромагнітами, які, як показала практика, працюють неефективно - потребують додаткової уваги в процесі регенерації уловлювальних поверхонь, не дозволяють включати в загальну систему автоматизованого керування технологічних ліній, а також є конструктивно недосконалими.

Тому дослідження, які направлені на удосконалення існуючих і розробка нових електромагнітних сепараторів для вилучення феромагнітних часток (ФМЧ) із продуктів дроблення зернових матеріалів, зокрема борошна, є актуальним завданням.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Виконані в дисертації дослідження є складовою частиною наступних програм і планів:

- Державної науково-технічної програми Міністерства України в справах науки й технологій 3.12 «Енерго й ресурсозбереження в сільськогосподарському виробництві»;

- Програми №1 науково-дослідних робіт Таврійської державної агротехнічної академії на 2004-2008 роки „Розробка наукових основ систем технологій і технічних засобів для забезпечення продовольчої безпеки Південного регіону України” (підпрограма 1.11.2. „Розробка та оптимізація режимів роботи електротехнологічного обладнання вилучення феромагнітних домішок у системах переробки зерна та зернових сумішей”, державній реєстраційний номер 0102V000685).

Мета й задачі дослідження. Метою досліджень є підвищення якості подрібненого зерна та борошна шляхом ефективного вилучення феромагнітних часток на базі математичної моделі взаємодії феромагнітних часток з магнітним полем.

Для реалізації даної мети необхідно вирішити наступні завдання:

1. Аналіз існуючих технологій і технічних засобів вилучення феромагнітних часток із дробленого зерна й обґрунтування шляхів їхнього вдосконалювання.

2. Теоретичне дослідження взаємодії магнітного поля з феромагнітними частками, що перебувають у дробленому зерні й борошні.

3. Розробка й обґрунтування статистики й динаміки феромагнітних часток у магнітному полі й методів розрахунку електромагнітних сепараторів їхнього вилучення .

4. Розробка пристроїв вилучення феромагнітних часток із дробленого зерна й борошна, а також експериментальне обґрунтування їхньої роботи й розрахунку.

Об'єкт досліджень – процеси взаємодії магнітного поля із ФМЧ при їх вилученні із дробленого зерна й борошна.

Предмет досліджень – закономірності процесів взаємодії магнітного поля із ФМЧ при їх вилученні із дробленого зерна й борошна.

Методи досліджень. У ході проведення теоретичних досліджень використані класичні закони й закономірності фізики й методи математичного моделювання процесів й апаратів. Експериментальні дослідження в лабораторних і промислових умовах проводилися за відомими методиками із застосуванням відповідних приладів й апаратури контролю, вимірів, фіксації й ЕОМ для рішення завдань й обробки результатів спостережень, а так само передбачене використання планування багатфакторного експерименту.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що:

- дістало подальшого розвитку принцип рівномірного розподілу магнітного поля по всій робочій зоні електромагнітного сепаратора за рахунок застосування концентраторів поля;

- вперше обґрунтовано електротехнологічні параметри електромагнітних сепараторів на базі розробленої математичної моделі взаємодії феромагнітних часток з магнітним полем;

- дістало подальшого розвитку залежність зони граничного впливу концентратора на феромагнітну частку залежно від сили струму в обмотці сепаратора, що дозволяє оптимізувати конструктивні параметри конструювання концентраторів у сепараторах.

Практичне значення отриманих результатів.

1. На підставі проведених теоретичних й експериментальних досліджень розроблено метод розрахунку електромагнітних сепараторів, оснащених концентраторами поля для вилучення феромагнітних часток із дробленого зерна й борошна.

2. Результати досліджень були використані в сільському (фермерському) господарстві „Котон” Вовчанського району Харківської області і передані у вигляді конструкторської документації фермерському господарству „Товстоган В.О.” Вовчанського району Харківської області. Відповідно до результатів досліджень запропонована конструкція електромагнітного сепаратора з концентраторами поля дозволяє збільшити якість вилучення феромагнітних часток із дробленого зерна й борошна на 12-15% і знизити енерговитрати на 27% у порівнянні з існуючими сепараторами БКМА, БКМЗ, ЭМ. Технічна новизна підтверджена рішенням „Українського інституту промислової власності” з видачею патентів на винахід (пат. № 68105А „Електромагнітний фільтр-сепаратор”, пат. № 55735А „Електромагнітний фільтр”, пат. № 50316А „Електромагнітний циклон”).

Особистий внесок здобувача полягає в одержанні наступних результатів:

1. Аналіз законів і закономірностей поведінки феромагнітних часток в області концентраторів магнітного поля в процесі їхнього вилучення [5].

2. Проведення теоретичних й експериментальних досліджень впливу опору матеріалу, розміру й форми використаних концентраторів, сили струму в обмотці сепаратора на процес вилучення феромагнітних часток з потоку дробленого зерна або борошна [9].

3. Розробка математичних моделей вилучення феромагнітних часток із дробленого зерна й борошна та їхньому чисельному дослідженні на ЕОМ [10].

4. Створення вузлів і конструкцій електромагнітних сепараторів, перевірка їхньої працездатності, проведені експериментальних досліджень і розробці методів розрахунку [10, 15, 16, 17, 19].

Апробація результатів дисертації. Основні положення роботи обговорювалися на наукових конференціях і семінарах:

- на науково-практичній конференції “Інформаційні технології в освіті” (м. Бердянськ, 2001р.);

- на Міжнародної науково-практичній конференції “Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України” (м. Харків, 2001р.)

- на Міжнародній науково-технічній конференції, присвяченій 50-річному ювілею факультету енергетики Таврійської державної агротехнічної академії (2002р.);

- на щорічних науково-практичних конференціях Таврійської державної агротехнічної академії (2001-2005р.);

Публікації. Основний зміст дисертації опублікований у 19 наукових працях, у т.ч. 11 у спеціалізованих збірниках і 8 в авторських свідоцтвах.

Структура й обсяг дисертації.

Дисертаційна робота складається з вступу, 3 розділів, висновків, списку використаної літератури й додатків. Повний обсяг дисертації - 148 сторінок машинописного тексту (у т.ч. 45 рис., 15 таблиць). Список використаної літератури містить 107 бібліографічних найменувань.

ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтована актуальність дисертаційної роботи. З погляду медицини потрапляння ФМЧ у біологічний організм викликає шлунково-кишкові захворювання, зокрема виразкові хвороби шлунка й т.д. Через те, що технологічні лінії існуючих підприємств не забезпечують необхідної якості борошна, рішення цієї проблеми є актуальним.

У першому розділі „Існуючі системи вилучення ФМЧ із дробленого зерна й борошна” розглянуто важливу роль борошна як біологічно необхідного продукту живлення, основні шляхи забруднення борошна ФМЧ. Представлено обстеження декількох зернопереробних підприємств, у результаті чого виявлено перевищення припустимих норм змісту ФМЧ у готовій продукції. Проаналізовано вилучені домішки, розглянуто основні способи й конструкції електромагнітних і магнітних сепараторів вилучення ФМЧ із зернових матеріалів.

На ряду з багатьма показниками якості борошна важливу роль відіграє зміст ФМЧ, наприклад, згідно з ДСТУ 40.004-99 і ГОСТом 276-60 у борошні й товарній пшениці їх зміст не повинен перевищувати 3 мг/кг. Дані вимоги пояснюються тим, що поява ФМЧ в біологічному організмі викликає різного роду шлунково-кишкові захворювання.

Технологія переробки товарного зерна на борошно або крупи являє собою сукупність операцій від надходження, триєрування, шпалерного очищення, до вологонормування, дроблення, сепарації й зберігання. Для цього застосовуються різні машини (рушанки, сепаратори, подрібнювачі млинного й ударного типів, дозатори й т.і.), пристрої транспортування (транспортери, пневмотраси, компресори, вентилятори й т.і.) і системи по вилученню ФМЧ. Робота перерахованого устаткування супроводжується зношуванням різних пар тертя (зерно - молотки, зерно - шнеки, зерно - трубопроводи й інш.), що і є джерелом забруднення дробленого зерна або борошна.

Із гранулометричної характеристики вловлених часток видно (рис.1), що на

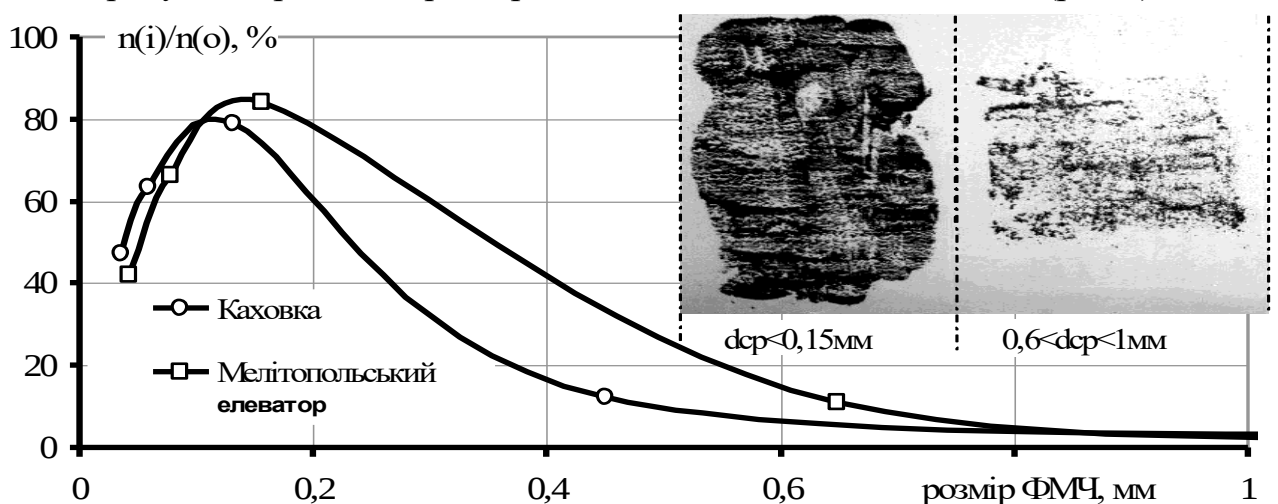


Рис.1. Гранулометричний склад ФМЧ.

якість борошна впливають частки розміром до 1 мм, що становлять 80-90% від загального обсягу. Це продукт зношування тертьових поверхонь технологічних машин (молотків, валів у підшипниках, зерна в трубопроводах, частин, що обертаються у

технологічних машинах).

Аналіз існуючої інформації, обстеження електромагнітних сепараторів і систем вилучення ФМЧ із дробленого зерна й борошна на виробництві показав: більшість електромагнітних (магнітних) сепараторів неефективні, не дозволяють працювати в загальній системі автоматизації. Тому розробка нових й удосконалювання існуючих способів і пристроїв вилучення ФМЧ із дробленого зерна й борошна в сільськогосподарському виробництві, особливо з позиції ефективності роботи встаткування має велике народногосподарське значення.

У другому розділі «Математичні моделі динаміки часток у магнітному полі електромагнітних сепараторів» розглянуто питання теорії взаємодії феромагнетиків з магнітним полем (рис. 2).

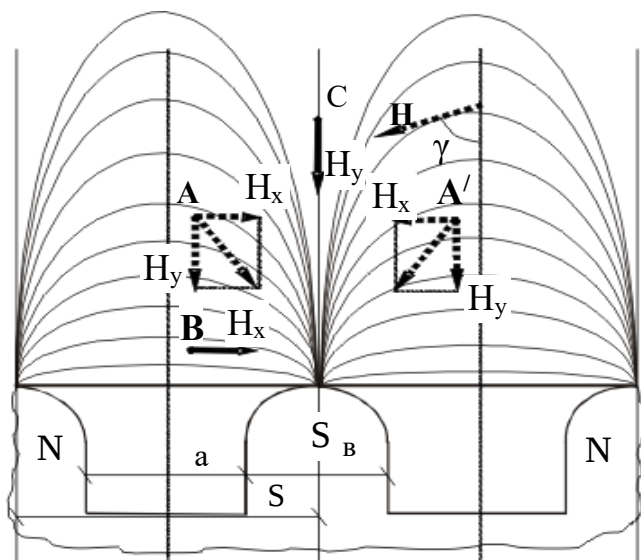


Рис.2. До розрахунку магнітного поля системи з полярністю, що чергується.

математичну модель вилучення ФМЧ у робочій зоні сепаратора з відкритою багатополюсною системою.

Математична модель сепаратора з відкритою багатополюсною системою:

$$F_p = m \cdot a = 3 \cdot \pi \cdot d_T \cdot \eta_C \cdot u_y + m \cdot g - \mu_0 \cdot \chi_T \cdot V \cdot \frac{\pi}{s} \cdot (H_0)^2 \cdot e^{\frac{2\pi}{s}y}. \quad (2)$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{du_y}{dt} &= \frac{3 \cdot \pi \cdot d_T \cdot \eta_C}{m} \cdot u_y + g - \mu_0 \cdot \frac{\chi_T}{\rho_q} \cdot \frac{\pi}{s} \cdot (H_0)^2 \cdot e^{\frac{2\pi}{s}y}; \\ \frac{dy}{dt} &= -u_y. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

з початковими умовами: при $t = 0$; $t(0) = 0$; $u_y(0) = 0$; $Y_p(0) = Y_p$.

де d_T – розмір частинки, м; η_C – в'язкість середовища, Па·с; u_y – швидкість руху частинки, м/с; m – маса частинки, кг; μ_0 – магнітна постійна, Гн/м; χ_T – магнітна сприйнятливості частинки, б. р.; ρ_q – щільність частинки, кг/м³; s – міжполюсний крок, м; H_0 – напруженість поля, А·м; y – траєкторія руху ФМЧ, м.

У загальному вигляді сили, що діють на ФМЧ у процесі вилучення їх магнітним полем із дробленого зерна й борошна, представлені у векторній формі (згідно з другим законом механіки) приймуть вигляд:

$$\overline{F_R} = \overline{F_C} + \overline{F_T} + \overline{F_M}, \quad (1)$$

де $\overline{F_R}$, $\overline{F_C}$, $\overline{F_T}$, $\overline{F_M}$ – відповідно сили результуюча, опору середовища, ваги й магнітного поля, Н.

Формулювання сил, які входять в (1) загальновідомі. На підставі запропонованої залежності (1) було розроблено

Отримана система диференціальних рівнянь (3) є математичною моделлю руху магнітної частки у магнітному полі робочих зон сепараторів, які містять системи з полюсами полярності, що чергується.

Чисельне інтегрування системи рівнянь (3) на ЕОМ (метод Рунге-Кутта) при варіюванні параметрами часток - розмір d_T , магнітна сприйнятливність χ_T , середовища (повітря) - в'язкість η_C , щільність ρ_C і напруженість поля H дозволяють визначати динамічні характеристики – час t , швидкість u_y і траєкторії у руху ФМЧ у робочій зоні сепараторів з полюсами полярності, що чергується (існуючих у цей час).

В якості приклада на рис.3 представлені результати чисельного диференціювання системи рівнянь (3) для конкретних розмірів ФМЧ і конструкції електромагнітного сепаратора.

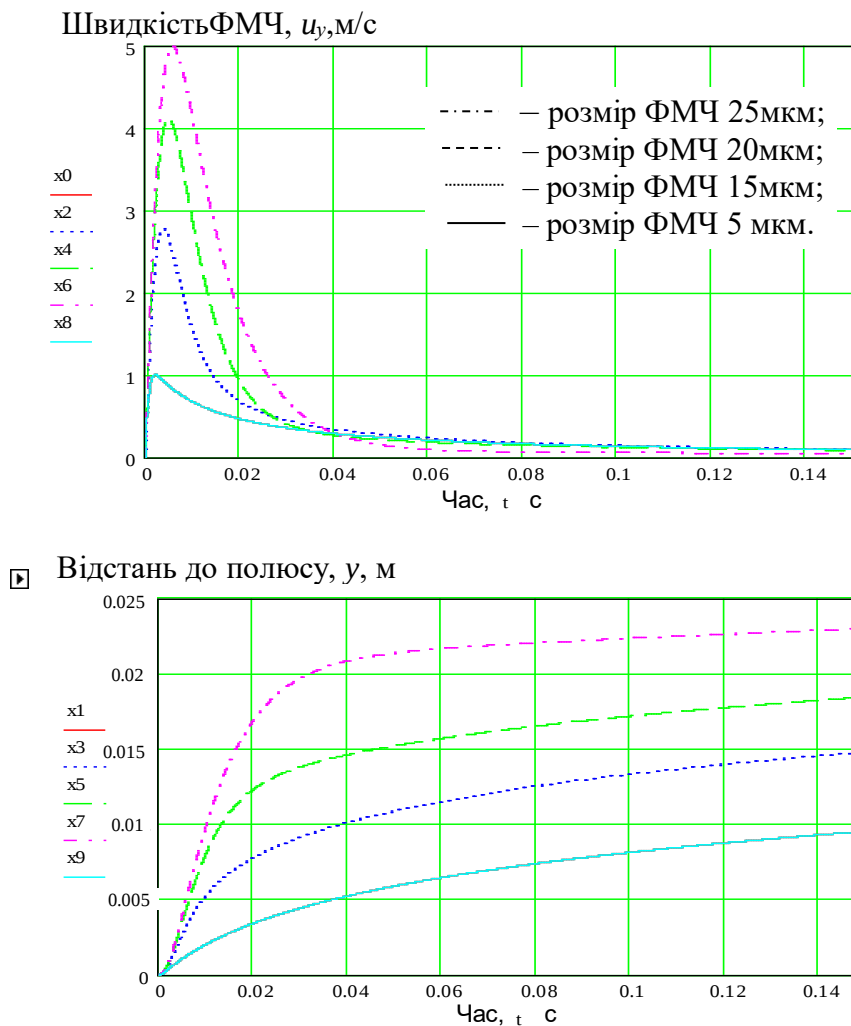


Рис.3. Швидкість і час руху ФМЧ у робочій зоні електромагніта з полюсами полярності, що чергується: крок полюсів $S = 0,097$ м.

при вилученні дрібних часток, тобто вони розраховані на більші домішки, ніж ті, які зустрічаються в загальному обсязі, а використання постійних магнітів не дозволяє їх включити в загальну систему автоматизації, що так само ускладнює процес регенерації уловлювальних поверхонь. Таким чином виникло завдання усунення цих недоліків за рахунок розробки нових конструкцій сепараторів вилучення ФМЧ.

Як видно з рис. 3, максимальна відстань, з якого витягнуться ФМЧ розміром від 5 до 20 мкм із потоку дробленого зерна або борошна становить від 5 до 20 мм, у той час як розмір труб, по яких транспортується перероблений матеріал, близько 90 мм. Таким чином, більше 60% ФМЧ розміром 20 мкм і нижче потраплять у готову продукцію. Якщо припустити, що середня швидкість ФМЧ u_y цього діапазону становить 3 м/с (у процесі їх вилучення й без обліку реальної швидкості транспортування), а час проходження t у робочій зоні магнітного сепаратора 0,14 с, то фактична довжина поверхні вилучення повинна бути не менш 0,42 м, що більше реальної довжини мінімум на 0,22 м. Таким чином, основна маса ФМЧ розміром 20 мкм і нижче не витягнуться й потраплять у готову продукцію. Цим і пояснюється невисока ефективність роботи існуючих сепараторів

Для рішення даного завдання було запропоновано використати сепаратори, оснащені концентраторами поля, у якості яких можуть бути використані тіла різної геометричної форми (переважно сферичні) з високою магнітною проникністю, розташовані в робочій зоні вилучення. Процес вилучення ФМЧ на концентраторах відбувається завдяки тому, що вони змінюють поле, тобто поблизу „центрів” (концентраторів) $\text{grad } H \neq 0$. На рис. 4. показано схему взаємодії часток з „центрами” осадження.

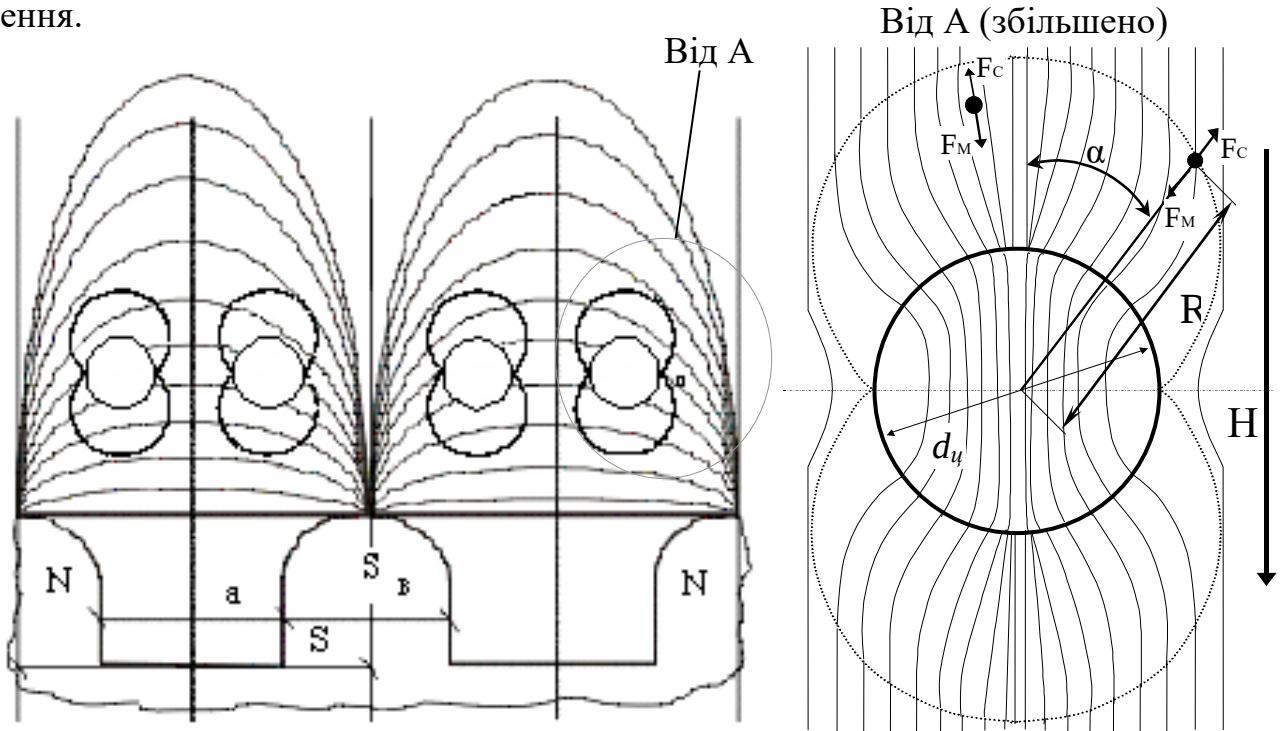


Рис.4. Схема взаємодії часток з „центрами” осадження.

Напруженість поля біля концентратора, поміщеного в однорідне магнітне поле ($\text{grad } H = 0$), визначається відомим рівнянням:

$$H_R = H_0 \cdot \left(1 + \frac{k \cdot d_u^3}{4 \cdot R^3} \right) \cdot \cos \alpha, \quad (4)$$

де R - поточна координата між ФМЧ і концентратором;

k - коефіцієнт; $k = \frac{(\mu-1)}{(\mu+2)}$;

μ - магнітна проникність ФМЧ;

d_u - діаметр концентратора;

α - кут потрапляння ФМЧ.

Диференціюючи (4) по R і записуючи у вигляді $\frac{dH_R}{dR}$, визначено швидкість зміни магнітного поля в області концентратора:

$$\frac{dH_R}{dR} = -3H_0 \cdot \cos \alpha \cdot \left(\frac{k \cdot d_u^3}{4 \cdot R^3} \cdot \frac{d_u^3}{R^4} \right). \quad (5)$$

Знаючи розподіл напруженості H_R (4) і швидкості її зміни $\frac{dH_R}{dR}$ (5), визначимо силу магнітного поля F_M , що діє на ФМЧ в області концентратора:

$$F_M = \mu_0 \cdot \chi_T \cdot \frac{\pi \cdot d_T^3}{8} \cdot H_0^2 \cdot \left(1 + \frac{k \cdot d_y^3}{4 \cdot R^3} \right) \left(\frac{k \cdot d_y^3}{R^4} \right) \cdot \cos^2 \alpha. \quad (6)$$

Таким чином, ФМЧ при потраплянні в область зміни магнітного поля концентраторів у сепараторі, підпадають під вплив тих же сил, розглянутих вище, але з іншими параметрами сили магнітного поля, напрямом якої орієнтовано до „центрів” осадження, а силовий вплив залежить від параметрів ФМЧ (χ_T – магнітної сприйнятливості, d_T – її розмірів), від положення частки R в області магнітного поля концентратора і його розмірів d_y .

Система рівнянь осадження часток на концентраторах, з врахуванням сил, що діють на неї (1, 6) аналогічна математичній моделі осадження на полюсі ФМЧ та має наступний вигляд :

$$\left. \begin{aligned} \frac{du}{dt} &= -A \cdot u - g + \frac{3 \cdot \mu_0 \cdot \chi_T \cdot H_0^2 \cdot \cos^2 \alpha}{4 \cdot \rho_y} \cdot \left(1 + \frac{k \cdot d_y^3}{4 \cdot R^3} \right) \left(\frac{k \cdot d_y^3}{R^4} \right); \\ \frac{dR}{dt} &= -u. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

з початковими умовами: при $t = 0$; $t(0) = 0$; $u(0) = u_0$; $R(0) = R_0$.

$$\text{де } A = \frac{3 \cdot \pi \cdot d_T \cdot \eta_C}{m}.$$

Система рівнянь (7) дозволяє визначити динамічні характеристики осадження часток на концентраторах - швидкість і відстань, з яких вони взаємодіють.

Як приклад на рис. 5 представлені результати чисельного диференціювання системи рівнянь (7) для конкретних розмірів ФМЧ і конструкції електромагнітного сепаратора. Залежності 1-5 на графіках показують зміну швидкості u осадження часток на концентратор при зміні параметрів магнітного поля (напруженості зовнішнього джерела) і розмірів концентраторів. Залежності 1'-5' показують відношення розміру концентратора до його відстані (шлях, пройдений часткою до концентратора при її потраплянні в зону вилучення).

Результати моделювання математичних моделей динаміки ФМЧ у магнітному полі електромагнітних сепараторів, оснащених концентраторами поля дозволяють зробити висновки:

– середня швидкість ФМЧ (розміром від 5 до 25 мкм) становить 12 м/с, при цьому „активна зона” вилучення для концентраторів різного діаметру (від 1 до 5 мкм) по вертикальній ($\alpha = 0^\circ$) і горизонтальній ($\alpha = 90^\circ$) складових міняється практично в 9 разів (рис. 6, табл. 1). Якщо скомпонувати концентратори таким чином, що сума „активних зон” вилучення буде дорівнювати робочому обсягу сепарації, то ступінь вилучення буде досягати 99%.

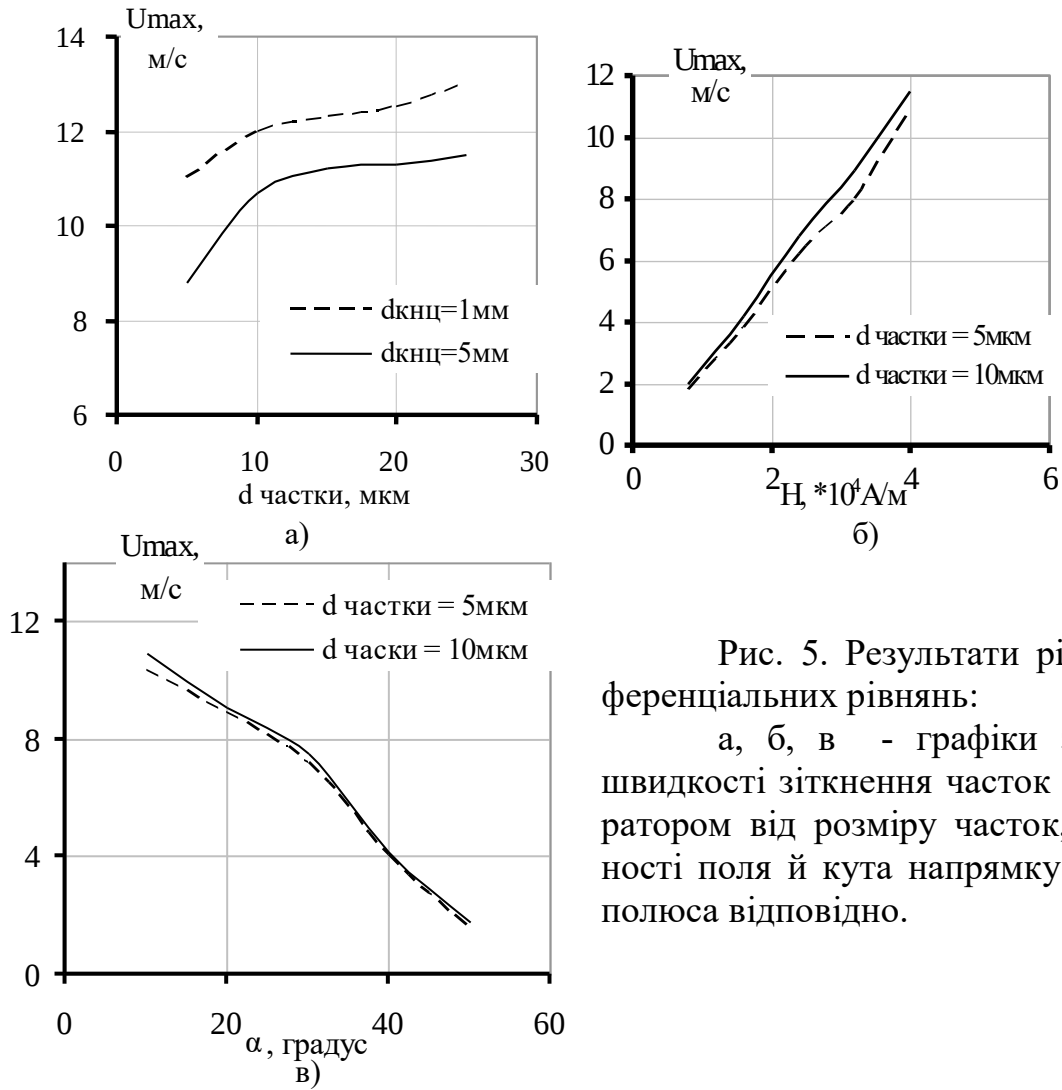


Рис. 5. Результати рішення диференціальних рівнянь:

а, б, в - графіки залежності швидкості зіткнення часток з концентратором від розміру часток, напруженості поля й кута напрямку частки до полюса відповідно.

Таким чином, виходячи з (1) і (6), не враховуючи силу ваги через її малу величину й вирішуючи відносно I , одержимо:

$$R = f(I) = \sqrt[3]{\frac{(\mu - 1)^2 \cdot d_u \cdot \mu_0 \cdot \chi_T \cdot d_T^2 \cdot (I \cdot W)^2 \cdot \cos^2 \alpha}{4 \cdot l_0^2 \cdot (\mu + 2)^2 \cdot \left((1 - \mu) \cdot \left(\mu_0 \cdot \chi_T \cdot d_T^2 \cdot \left(\frac{I \cdot W}{l_0} \right)^2 \cdot \cos^2 \alpha \right) + 8\eta_c \cdot u \right)}}. \quad (8)$$

Залежність (8) є основною при розрахунку компоновання сепараторів, тому що поєднує основні його параметри: силу струму I , число витків W і висоту електромагнітної обмотки l_0 , розмір концентраторів (діаметр спіралі) d_u , активну зону вилучення R , положення частки в момент зіткнення $\cos \alpha$, розмір частки d_T , а також параметри середовища: в'язкість η_c , магнітна проникність μ і швидкість потоку u .

У табл.1 запропонований результат розрахунку компоновання сепараторів, оснащених концентраторами, при розташуванні їх у вертикальному порядку, як показано на рис.6.

Аналізуючи швидкість співударання часток в концентратор необхідно відзначити, що вона росте пропорційно збільшенню напруженості, але не лінійно (при збільшенні напруженості в 5 разів швидкість збільшується в 6,2 рази). При однако-

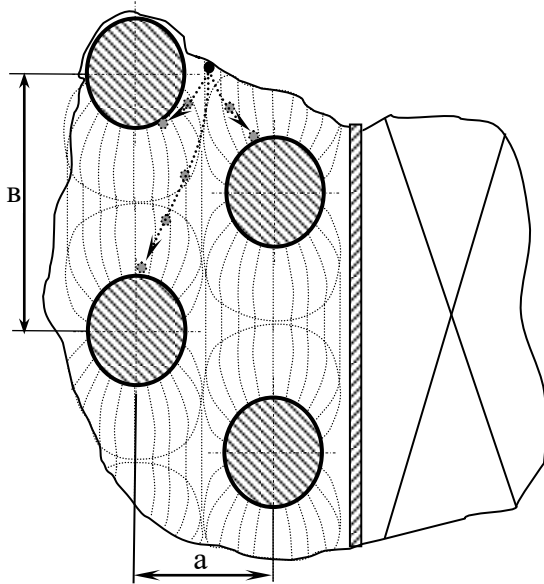


Рис. 6. Конструктивні параметри сепараторів з концентраторами: а, в - відстань між концентраторами в горизонтальному й вертикальному напрямках.

вих параметрах магнітного поля частки більшого розміру (а отже більшої маси) мають швидкість вище ніж дрібні частки; при зміні напруженості в 5 разів, в якій пропорційно змінюється область, в якій частки притягаються до концентратора; різного розміру частки (від 5 мкм до 25 мкм) притягаються не з однакової відстані – при напруженості $4,0 \cdot 10^4$ А/м феромагнітна частка розміром 5 мкм притягається до концентратора з відстані 7 мм, частка 10 мкм – 14 мм, 15 мкм – 20 мм и т.д.

Важливим елементом розрахунку електромагнітного сепаратора з концентраторами є визначення ефективності його роботи, вираженої через взаємозв'язок з основними електротехнічними параметрами пристрою, зазначеними раніше. Відповідно до пропонованої методики, ефективність вилучення часток в електромагнітному сепараторі буде визначатися розміром і

Таблиця 1

Конструктивні параметри концентраторів, при вилученні ФМЧ розміром 5 мкм (число витків обмотки електромагніта $W=360$)

Відстань між концентраторами	Діаметр концентраторів				
	1 мм	2 мм	3 мм	4 мм	5 мм
По вертикалі, в, мм	16	14	12	8	2
По горизонталі, а, мм	8	7	5	3	0,8

кількістю „зон невловлювання”, утворених через неповне охоплення зміни магнітного поля навколо кожного концентратора (рис.7).

Таким чином, ефективність визначається рівнянням (для даного випадку):

$$\mathfrak{E} = \frac{V_{\text{вн}} - V_{\text{зн}}}{V_{\text{вн}}}, \quad (9)$$

де $V_{\text{вн}}$ – внутрішній об'єм сепаратора;

$V_{\text{зн}}$ – об'єм „зон невловлювання”.

Згідно з рис.7, визначимо наступні об'єми:

– внутрішній сепаратора, $V_{\text{вн}}$:

$$V_{\text{вн}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{mp}}^2}{4} \cdot l_0. \quad (10)$$

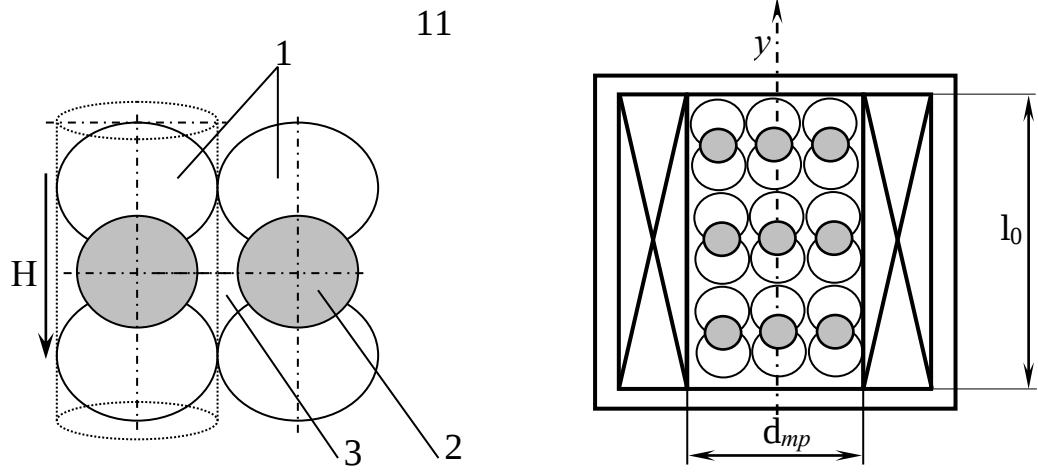


Рис.7. Розподіл напруженості поля навколо концентраторів:

- 1 – зона вилучення (корисний об'єм, V_n),
 2 – концентратор (об'єм, що займає концентратор, V_k),
 3 – „зони невловлювання” (об'єм без поля, $V_{б.н.}$),
 d_{mp} – внутрішній діаметр сепаратора,
 l_0 – довжина сепаратора.

– що займає концентратор, V_k :

$$V_k = \frac{\pi \cdot d_y^3}{8}. \quad (11)$$

– корисний, $V_{кр}$, з урахуванням (8):

$$V_{кр} = \frac{\pi \cdot \left[\sqrt{\frac{(\mu-1)^2 \cdot d_y \cdot \mu_0 \cdot \chi_T \cdot d_T^2 \cdot (I \cdot W)^2 \cdot \cos^2 \alpha}{4 \cdot l_0^2 \cdot (\mu+2)^2 \cdot \left((1-\mu) \cdot \left(\mu_0 \cdot \chi_T \cdot d_T^2 \cdot \left(\frac{I \cdot W}{l_0} \right)^2 \cdot \cos^2 \alpha \right) + 8\eta_c \cdot u \right)}} \right]^3}{8}. \quad (12)$$

- без поля:

$$V_{б.н.} = V_{вн} - n \cdot (2 \cdot V_{кр} + V_k), \quad (13)$$

де n – кількість концентраторів.

З урахуванням (10-13), вираження визначення ефективності (9) прийме вигляд:

$$E_i = \frac{n \cdot (2 \cdot V_{кр} + V_k)}{V_{вн}} = \frac{n \cdot \left[2\pi \cdot \frac{(\mu-1)^2 \cdot d_y \cdot \mu_0 \cdot \chi_T \cdot d_T^2 \cdot (I \cdot W)^2 \cdot \cos^2 \alpha}{4 \cdot l_0^2 \cdot (\mu+2)^2 \cdot \left((1-\mu) \cdot \left(\mu_0 \cdot \chi_T \cdot d_T^2 \cdot \left(\frac{I \cdot W}{l_0} \right)^2 \cdot \cos^2 \alpha \right) + 8\eta_c \cdot u \right)} + \pi \cdot d_y^3 \right]}{2\pi \cdot d_{mp}^2 \cdot l_0}. \quad (14)$$

Як приклад, на рис. 8 наведені залежності ефективності вилучення від сили струму в обмотці сепаратора, обчислені для розробленого електромагнітного сепаратора й зіставлені з теоретичною залежністю (14) при наступних параметрах: розмір концентратора $d_u = 1\text{ мм}$, довжина обмотки сепаратора $l_0 = 100\text{ мм}$, число витків $W = 354$, внутрішній діаметр сепаратора $d_{mp} = 85\text{ мм}$, розмір ФМЧ = 100 мкм, струм в обмотці $I (\text{var})$ 5 - 29 А.

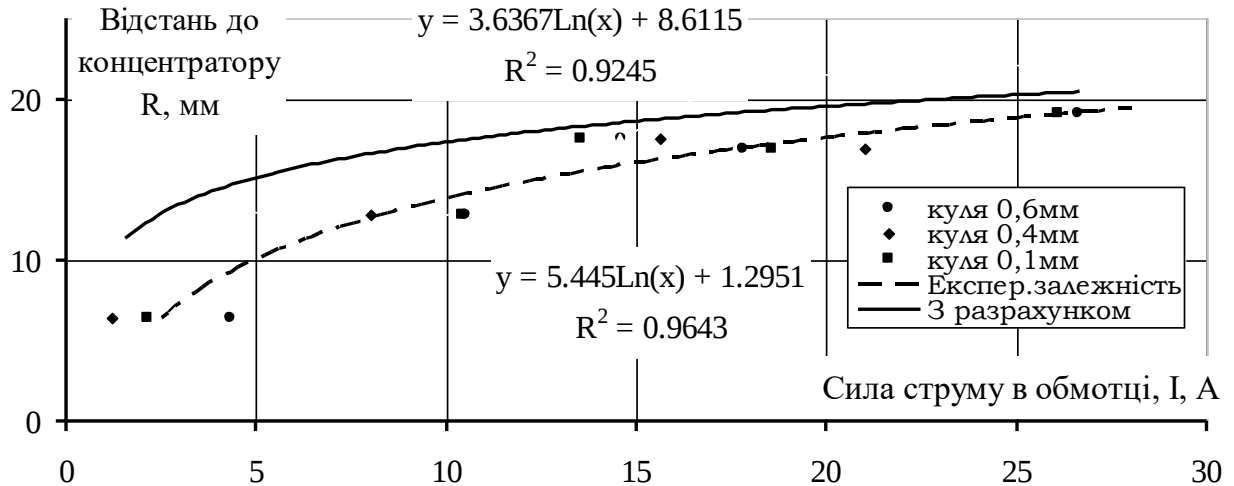


Рис. 8. Залежність ефективності вилучення ФМЧ від сили струму в обмотці електромагніта.

Відповідно до представлених результатів можна зробити висновок, що теоретична залежність (7) являє собою складну функцію, яка дозволяє розрахувати електромагнітний сепаратор, оснащений концентраторами поля у вигляді спіралей, установлені одна в одну з певним кроком або сфер (куль), установлені у певному порядку таким чином, щоб кожна частка потоку торкнулася уловлювальної поверхні концентратора.

У третьому розділі «Розробка й дослідження електромагнітних сепараторів для очищення дробленого зерна й борошна від ФМЧ» на основі аналізу існуючих конструкцій електромагнітних сепараторів і теоретичних досліджень розроблені на рівні винаходів нові елементи, вузли й пристрої для вилучення ФМЧ із дробленого зерна й борошна (рис. 9, 10 й 11).

В основу нової конструкції (рис.9) покладене завдання створення електро-

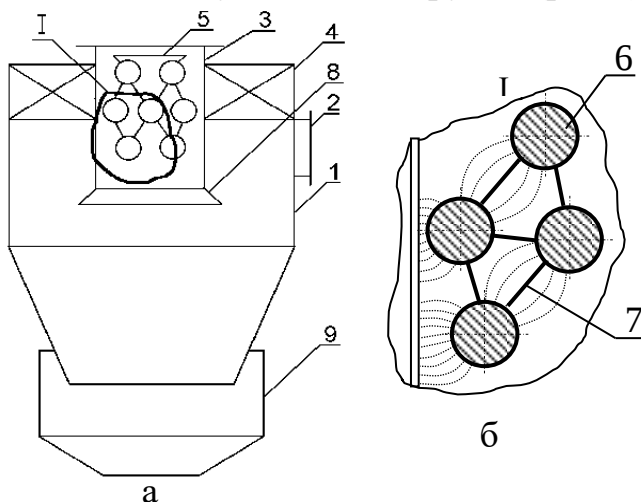


Рис.9. Електромагнітний циклон: а - циклон у загальному виді; б - вузол I; 1 - циліндроконічний корпус із кришкою; 2 - вхідний тангенціальний патрубок; 3 - вхідна труба; 4 - електромагнітна система; 5 - система доочищення; 6 - блок сферичних феромагнітних тіл (розміщених у шаховому порядку); 7 - немагнітні стрижні; 8 - відбійник; 9 - бункер.

магнітного циклона [Пат. 50316 А Україна, МПК⁷ У04С 5/12. Електромагнітний циклон; Опубл. 15.10.2002;], у якому в якості системи доочищення служить блок сферичних феромагнітних тіл, установлених у шаховому порядку й закріплених між собою немагнітними стрижнями, що дозволяє підвищити ступінь вилучення ФМЧ і відповідно поліпшити якість переробки дробленого зерна й борошна.

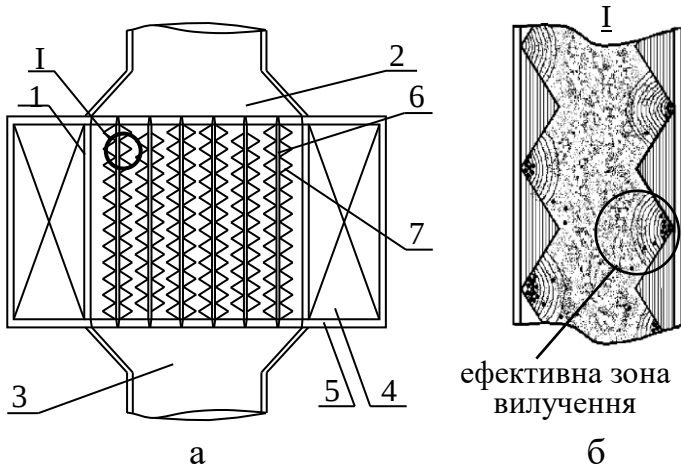
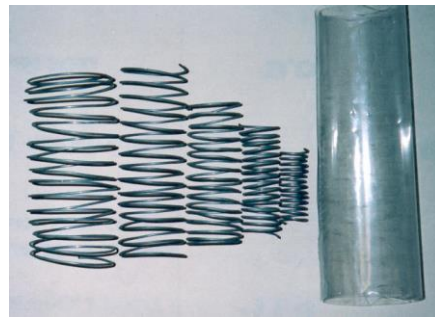
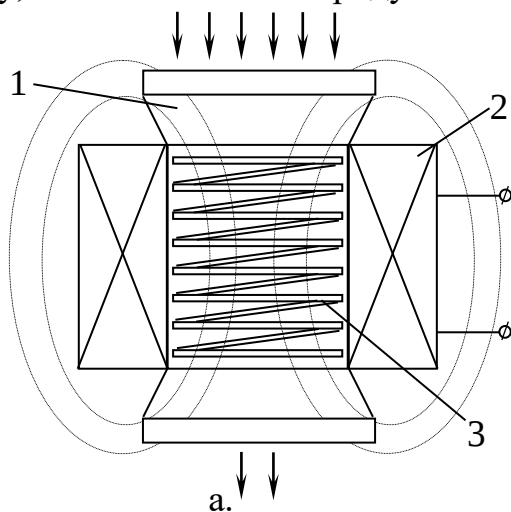


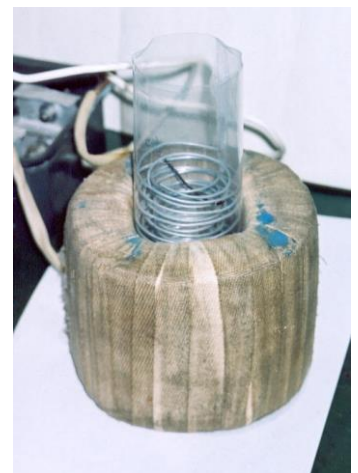
Рис.10. Електромагнітний фільтр у загальному виді: 1 - корпус; 2, 3 - вхідний і вихідний патрубки; 4 - соленоїд; 5 - магнітопровід; 6 - немагнітні труби; 7 - феромагнітні кільця.

В основу наступної конструкції закладено створення електромагнітного фільтра [Пат. 55735 А Україна, МПК⁷ У03С 1/02. Електромагнітний фільтр / Опубл.15.04.2003.], у якому в якості концентраторів поля служать феромагнітні кільця, що у перетині мають вигляд рівнобедреного трикутника у вершині з тупим кутом, закріплені основою на поверхні труб, які дають можливість збільшити турбулентність дробленого зерна й борошна в зоні сепарації й підвищити ступінь вилучення ФМЧ (рис.10).

В основу наступного винаходу [Пат. 68105 А Україна, МПК⁷ У03С 1/02. Електромагнітний фільтр-сепаратор / Опубл. 15.07.2004.] закладено створення електромагнітного фільтр-сепаратора, у якому в якості концентраторів використовують насадки, виконані у вигляді феромагнітних спіралей, розташовані зовні й усередині немагнітних закріплених між собою циліндричних труб. При цьому крок спіралі має постійне значення й не залежить від діаметра кільця, що дає можливість рівномірно розподілити магнітний потік по всьому об'єму фільтр-сепаратора й підвищити ступінь очищення дробленого зерна й борошна. Крок між кільцями забезпечить нормальне проходження матеріалу, не впливаючи на продуктивність апарата (рис.11).



б.



в.

Рис.11. Зображення електромагнітного фільтр-сепаратора в загальному вигляді: а. - конструктивне виконання; б. - наповнювач зі спіралей; в. - зовнішній вигляд; 1- завантажувальна горловина, 2 - соленоїд, 3 - феромагнітні спіралі.

Електромагнітні сепаратори для вилучення ФМЧ із дробленого зерна й метод визначення ефективності вилучення якісно (розкриття механізму вилучення) і кількісно (визначення числових значень параметрів електромагнітних сепараторів) перевірялися на спеціально розробленій експериментальній установці (рис.12).

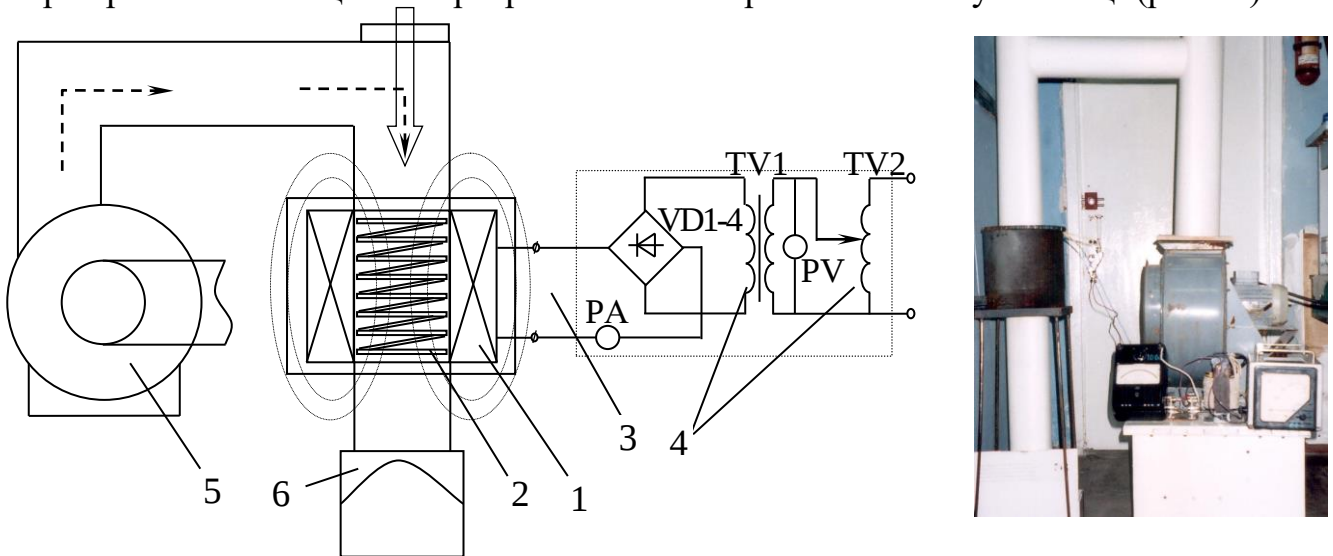


Рис.12. Схема експериментальної установки: 1 – електромагнітна котушка; 2 – наповнювач; 3 – випрямний міст; 4 – блок зниження напруги; 5 – компресор-пневмо-транспорт; 6 – бункер очищеного борошна.

Експеримент проводився без наповнювачів, у результаті якого (рис.13) фіксували напругу на первинній обмотці трансформатора, напруженість магнітного поля котушки (струм у котушці). Було просипано магнітний порошок через циліндр, розташований усередині котушки. Шляхом зважування визначалася масова частина невилучених ФМЧ. Фіксуючи розходження мас, було отримано ефективність вилучення, що визначалася за формулою:

$$E_i = \frac{m_{mn} - m_{mnч}}{m_{mn}} \times 100\% , \quad (14)$$

де E_i – ефективність вилучення, %;

m_{mn} – маса навішення, гр;

$m_{mnч}$ – маса невилучених часток, гр.

При цьому опір середовища не робить великого впливу на процес вилучення, тому що при порівняних розмірах феромагнітної часточки й борошна маси їх відрізняються через різницю щільності. Але це справедливо тільки при переміщенні борошна в „зваженому стані”, тобто пневмотранспортом.

Далі в якості наповнювачів використовували феромагнітні тіла різної форми (наприклад, запропоновані гайки М14, розташовані в циліндрі, зафіксовані між собою на немагнітних з'єднаннях; циліндр розміщався усередині котушки), розташовані в шаховому порядку, що дозволяє ФМЧ, що перебуває в потоці дробленого зерна й борошна, торкнутися поверхні наповнювача.

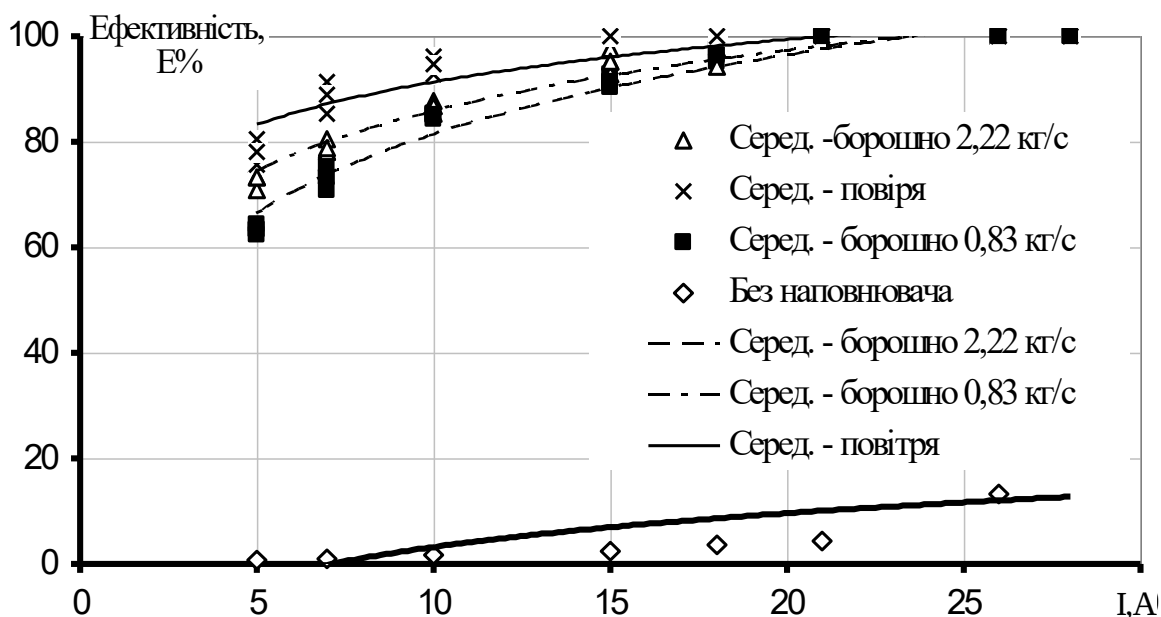


Рис.13. Вилучення магнітних домішок при наявності наповнювачів і без них.

Також в якості наповнювачів використовувався „пакет” феромагнітних спіралей з діаметром 1 мм. При цьому крок спіралі S по горизонталі залишався незмінним, а по вертикалі мінявся у відношенні: 1) $S = d$ спіралі; 2) $S = 2d$ спіралі; 3) $S = 3,2d$ спіралі. При цьому довжина „пакета” спіралей мінялася від 32 до 100 мм.

Обробка даних експериментальних результатів показала, що використання „наповнювачів” в електромагнітних сепараторах підвищило ефективність вилучення ФМЧ із дробленого зерна й борошна, що підтверджує теоретичні дослідження.

При збільшенні кроку спіралей якість вилучення збільшується завдяки посиленню „розпухання” силових ліній магнітного поля навколо них, дозволяючи сконцентрувати поле усередині робочої зони вилучення електромагнітного сепаратора.

Були досліджені явища повторного віднесення вловлених часток з уловлювальних поверхонь сепаратора, для чого були виконані експериментальні дослідження, що моделюють процес утримання ФМЧ на сферичній поверхні концентратора. Було отримано наступні результати:

- зі зменшенням напруженості поля зовнішнього джерела (зниженням сили струму в обмотці електромагніта), кут відхилення пасма куль збільшувався нелінійно при бічному напрямку потоку;

- чим більше діаметр концентратора, тим більше зона нестійкого втримання при постійних умовах, що пояснюється зниженням розподілу зони зміни поля навколо концентратора;

- мінімальна напруженість поля в області концентратора, при якій можливе втримання ФМЧ, відповідна силі струму для розглянутого джерела поля в 8 разів менше номінальної при потоці 20 м/с, отже, уловлені частки будуть надійно закріплені на поверхні концентратора.

Розроблено рекомендації із застосування електротехнологічних електромагнітних сепараторів вилучення ФМЧ із дробленого зерна й борошна, включаючи питання проектування, виготовлення, монтажу й експлуатації щодо зернопереробних

підприємств. Представлена також соціально-економічна оцінка застосування запропонованого електромагнітного сепаратора вилучення ФМЧ із дробленого зерна й борошна.

ВИСНОВКИ

У дисертації наведено теоретичне узагальнення та нове вирішення задачі ефективного вилучення феромагнітних часток за рахунок створення нової конструкції електромагнітного сепаратора на базі математичної моделі взаємодії феромагнетиків з магнітним полем, який забезпечує підвищення якості дробленого зерна та борошна без застосування додаткових техніко – енергетичних витрат.

Представлені в дисертації результати досліджень дозволяють зробити наступні висновки:

1. На підставі аналізу літературних джерел, існуючі електромагнітні сепаратори й системи для вилучення ФМЧ із дробленого зерна й борошна, які використовують в агропромисловому комплексі, а також математичне моделювання процесу вилучення виявило їх низьку ефективність роботи. Тому завдання по вдосконаленню існуючих і розробці нових елементів і конструкцій електромагнітних сепараторів досить актуальні.

2. Для підвищення ефективності вилучення розроблені нові елементи конструкцій електромагнітних сепараторів у вигляді різного роду насадок (спіралей, куль), що дозволяє концентрувати поле у середині робочої зони сепаратора.

3. Сформульовано математичну модель у вигляді системи диференціальних рівнянь для визначення динамічних характеристик – часу t , швидкості u і відстані R переміщення магнітної частки в робочій зоні електромагнітних сепараторів, оснащених концентраторами, що дозволяє зв'язати параметри часток (розмір d_T , магнітна сприйнятливність χ_T , щільність ρ_T), середовища (повітря - в'язкість η_c) і магнітного поля (напруженість H і швидкість його зміни $gradH$), завдяки якій запропоновано методику розрахунку сепараторів, оснащених концентраторами, що дозволяє визначити конструктивні параметри наповнювачів: розмір концентраторів, відстань між ними і їхнім компонуванням, а так само конструктивні параметри електромагнітної системи.

4. Експериментально лабораторними дослідженнями підтверджені теоретичні залежності вилучення ФМЧ із дробленого зерна, зокрема функцію $R = f(I)$ з величиною вірогідності апроксимації 92%.

5. Розроблено нову конструкцію електромагнітного сепаратора, що містить феромагнітні спірали діаметром 2,5 мм у кількості 6 шт, установлені із кроком 11,2 мм, із числом витків 33 одиниці, що дозволяє при мінімальних енерговитратах 0,4 кВт одержувати ефективність вилучення ФМЧ в діапазоні 95-99%.

6. Експериментально вирішено питання повторного віднесення ФМЧ із поверхні концентратора: утримання часток можливе при силі струму в обмотці електромагніта сепаратора в 8 разів нижче номінальної при швидкості потоку пневмотранспорту 20 м/с. Таким чином, економічна оцінка проведених досліджень (30 тис. грн./рік) свідчить про доцільність широкого впровадження у виробництво розроблених електромагнітних сепараторів вилучення ФМЧ із дробленого зерна й борошна.

СПИСОК РОБІТ ПО ТЕМІ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Хассай Д.В., Кузнецов И.О., Просвирнин В.И. Особенности расчета электротехнических систем извлечения ферромагнитных частиц из зерна и зерновых смесей // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. – Вип. 3. – Харків: „Стас”. - 2000. - С. 77-80. *(Розкрита сукупність сил, діючих на феромагнітну частку в сепараторі та запропоновано метод розрахунку параметрів електромагнітних котушок).*
2. Хассай Д.В., Кузнецов И.О., Просвирнин В.И. Алгоритм разработки электротехнических систем извлечения ферромагнитных частиц из зерна и зерновых смесей // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. - Вип. 3. - Харків: „Стас”. - 2000. - С. 114-116. *(Зроблено аналіз джерел забруднення зернових сумішей феромагнітними домішками та створена структурна схема процесу сепарації зернових).*
3. Просвирнин В.І., Хассай Д.В., Кузнецов І.О. Аналіз електротехнологічних систем витягу феромагнітних тіл з зерна та зернових сумішей // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. - Вип. 1, Т.17. - Мелітополь: ТДАТА. - 2000. - С. 3-8. *(Розглянуті характеристики електромагнітних систем вилучення феромагнітних тіл з зернових сумішей та стан зернових у процесі переміщення).*
4. Хассай Д.В., Просвирнин В.І., Кузнецов І.О. Энергозберігаючі режими роботи електротехнологічних систем витягу феромагнітних домішок // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. - Вип. 1, Т.18. - Мелітополь: ТДАТА. - 2001. - С. 6-7. *(Запропоновано схему електричну принципову керування системою вилучення феромагнітних домішок з зернових сумішей).*
5. Просвирнин В.И., Кузнецов И.О. К расчету магнитных концентраторов для извлечения ферромагнитных примесей из высокодисперсных материалов // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. - Вип. 6. - Харків: „Стас”. - 2001. - С. 514 – 519. *(Проведені теоретичні дослідження розподілу напруженості магнітного поля навколо сферичного концентратора).*
6. Кузнецов І.О. До технології вилучення тонкодисперсних феромагнітних домішок з борошна // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. - Вип. 1, Т.19. - Мелітополь: ТДАТА. - 2001. – С. 108 –111.
7. Хассай Д.В., Просвирнин В.И., Кузнецов И.О. Математическое моделирование извлечения ферромагнитных примесей из продуктов первичной и глубокой переработки зерновых // Зб. наук. пр. (Матеріали науково – практичної конференції „Інформаційні технології в освіті” (16 – 18 травня)). – Бердянськ: БДП. - 2001. – С. 68 – 73. *(Запропоновано методику розрахунку електротехнологічних параметрів електромагнітного сепаратора з чисельною обробкою результатів).*
8. Хассай Д.В., Кузнецов И.О., Гулевский В.Б. К вопросу совершенствования электротехнологических систем извлечения ферромагнитных частиц из сыпучих материалов // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. - Вип. 1. - Мелітополь: ТДАТА. - 2002. – С. 61 –64. *(Запропоновано функціональну схему системи вилучення феромагнітних домішок та контролю якості очищеного зернового матеріалу).*
9. Масюткин Е.П., Просвирнин В.И., Кузнецов И.О. Расчет электромагнит-

ных циклонов // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. - Вип. 24. - Мелітополь: ТДАТА. - 2004. - С. 47 –55. *(Запропоновано та обґрунтовано метод розрахунку електромагнітних циклонов).*

10. Просвірнін В.І., Кузнецов І.О. К теории и расчету магнитных сепараторов для извлечения ферромагнетиков из дисперсных материалов // Електрифікація та автоматизація сільського господарства. - 2004. - №4(9) С. 30 – 35. *(Запропоновано методику розрахунку електромагнітних сепараторів, які містять концентратори поля для вилучення феромагнітних часток з дисперсних матеріалів сільськогосподарського виробництва).*

11. Масюткин Е.П., Хассай Д.В., Кузнецов И.О., Богатырев Ю.О. Совершенствование технологии и оборудования извлечения магнитных примесей из потоков зерновых материалов // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. - Вип. 31. - Мелітополь: ТДАТА. - 2005. - С. 53 –61. *(Робота присвячена вдосконаленню технології і обладнання вилучення феромагнітних домішок з потоків зернових матеріалів).*

12. Пат. 38894А Україна, МПК⁷ B03C 1/08. Вібромагнітний сепаратор / Просвірнін В.І., Хассай Д.В., Кузнецов І.О. (Україна). - №2000116546; Заявл.21.11.2000; Опубл. 15.05.2001; Бюл. № 4.–3 с. *(Запропоновано і обґрунтовано систему, яка дозволяє знизити енерговитрати при сепарації зернових за рахунок створення вібрації шару зернових в зоні вилучення феромагнітних домішок).*

13. Пат. 1113 Україна, МПК⁷ B03C 1/02. Електромагнітний сепаратор / Просвірнін В.І., Хассай Д.В., Кузнецов І.О. (Україна). - № 2001031637; Заявл.12.03.2001; Опубл.17.12.2001; Бюл.№ 11.–4 с. *(Запропоновано джерело магнітного поля з шихтованим магнітопроводом).*

14. Пат. 48528А Україна, МПК⁷ B03C 1/02. Електромагнітний сепаратор / Просвірнін В.І., Хассай Д.В., Кузнецов І.О. (Україна). - № 2001096583; Заявл. 26.09.2001; Опубл. 15.08.2002; Бюл. № 8.–4с. *(Запропоновано конструкцію ефективною системи очищення полюсів електромагнітної системи).*

15. Пат. 50316 А Україна, МПК⁷ B04C 5/12. Електромагнітний циклон / Просвірнін В.І., Кузнецов І.О. (Україна). - № 2001128836; Заявл. 20.12.2001; Опубл. 15.10.2002; Бюл. № 10. – 3 с.

(Запропоновано конструкцію пристрою вилучення феромагнітних часток з подрібненого зерна та борошна, який містить концентратори у вигляді кілець).

16. Пат. 55735 А Україна, МПК⁷ B03C 1/02. Електромагнітний фільтр / Просвірнін В.І., Кузнецов І.О. (Україна). - № 2002054403; Заявл. 29.05.2002; Опубл. 15.04.2003; Бюл. № 4. – 3 с. *(Запропоновано конструкцію пристрою вилучення феромагнітних часток з подрібненого зерна та борошна, який містить сферичні концентратори).*

17. Пат. 68105 А Україна, МПК⁷ B03C 1/02. Електромагнітний фільтр-сепаратор / Просвірнін В.І., Масюткін Є.П., Кузнецов І.О. (Україна). - № 2003109069; Заявл. 07.10.2003; Опубл. 15.07.2004; Бюл. № 7. – 2 с. *(Запропоновано конструкцію пристрою вилучення феромагнітних часток з подрібненого зерна та борошна, який містить спіралеві концентратори).*

18. Пат. 6819 Україна, МПК⁷ B03C 1/02. Магнітний сепаратор / Просвірнін В.І., Кузнецов І.О., Богатирьов Ю.О. (Україна). - № 20041109790; Заявл. 29.11.2004;

Опубл. 16.05.2005; Бюл. № 5. – 2 с. *(Запропоновано конструкцію пристрою визначення забрудненості сепаратора).*

19. Пат. 10518 Україна, МПК⁷ B03C 1/02. Електромагнітний фільтр-сепаратор / Просвірнін В.І., Масюткін Є.П., Кузнецов І.О. (Україна). - № u200504373; Заявл. 10.05.2005; Опубл. 15.11.2005; Бюл. № 11. – 2 с. *(Запропоновано конструкцію пристрою вилучення феромагнітних часток з подрібненого зерна та борошна, який містить спіралеві концентратори та корпус з отворами у вигляді “сопіл Ловаля”).*

АНОТАЦІЯ

Кузнецов Ілля Олегович. Обґрунтування електротехнічних параметрів магнітного вилучення продуктів зносу робочих органів обладнання із потоків дробленого зерна. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.16 – Електротехнології та електрообладнання в агропромисловому комплексі – Таврійська державна агротехнічна академія, Мелітополь 2006 р.

Представлена дисертаційна робота розкриває нове вирішення задачі підвищення ефективності вилучення феромагнітних часток з дробленого зерна та борошна на базі обґрунтованої теорії і практики взаємодії феромагнетиків з високоградієнтним магнітним полем шляхом використання концентраторів магнітного поля.

Проведений аналіз показав, що існуючі пристрої і системи для витягу магнітних часток із подрібненого зерна і борошна малоефективні і не допускають включення їх у загальну схему автоматизації ліній переробки.

Основним результатом теоретичних досліджень є визначення динамічних характеристик переміщення магнітної частки в робочій зоні електромагнітних сепараторів, з концентраторами і без них, сформульовано математичну модель у вигляді системи диференціальних рівнянь, що зв'язує параметри тіл, середовища і магнітного поля, розроблено й експериментально досліджено нові елементи і конструкції електромагнітних сепараторів.

Проведено експериментальну перевірку основних теоретичних положень.

Економічна оцінка проведених досліджень (30 тис.грн./рік) свідчить про доцільність впровадження у виробництво розроблених електромагнітних систем витягу магнітних часток із дробленого зерна і борошна.

Ключові слова: *магнітне тіло, напруженість поля, витяг, сепаратор, дослідження.*

АННОТАЦИЯ

Кузнецов Илья Олегович. Обоснование электротехнологических параметров магнитного извлечения продуктов износа рабочих органов оборудования из потоков дробленого зерна. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.16 – электротехнологии и электрооборудование в сельскохозяйственном производстве – Таврическая государственная агротехническая академия, Мелитополь, 2006г.

В диссертации приведены теоретические обобщения и новое решение задачи эффективного извлечения ферромагнитных частиц за счет создания новой конструкции электромагнитного сепаратора на базе математической модели взаимодействия ферромагнетиков с магнитным полем, который обеспечивает повышение качества дробленого зерна и муки без применения дополнительных технико–энергетических затрат.

В процессе переработки зерновых рабочие органы оборудования подвержены износу – в частности истиранию, откалыванию. Так как основным материалом, применяемым для их изготовления служат сталь и чугун, то в результате износа в готовую продукцию попадают мельчайшие частицы металлов (ферромагнетиков), масса которых для всех зерновых круп, а так же муки регламентируется ГОСТами и составляет 3 мг/кг. Несоблюдение этих требований влечет за собой отбраковку продукции и как следствие – её фактическое удешевление за счет использования в комбикормах. В настоящее время, бóльшая часть технологических линий укомплектованы магнитными сепараторами, снабженными постоянными или электромагнитами, которые, как показала практика, работают неэффективно – требуют дополнительного внимания в процессе очистки улавливающих поверхностей, не позволяют включать в общую систему автоматизированного управления технологических линий, а так же конструктивно несовершенны.

Поэтому, совершенствование существующих и разработка новых электромагнитных сепараторов для извлечения ферромагнитных частиц из продуктов дробления зерновых материалов, в частности муки, является актуальной задачей.

Основным результатом теоретических исследований является определение динамических характеристик перемещения магнитной частицы в рабочей зоне электромагнитного сепаратора, снабженного концентраторами и без них в результате чего сформулирована математическая модель в виде системы дифференциальных уравнений, связывающая параметры частиц, среды и магнитного поля. Предложен принцип равномерного распределения магнитного поля по всей рабочей зоне электромагнитного сепаратора за счет применения концентраторов поля, а так же получена зависимость расстояния ферромагнитной частицы до концентратора от силы тока в обмотке сепаратора, позволяющая оптимизировать конструктивные параметры компоновки концентраторов в сепараторах.

На основании теоретических и экспериментальных исследований разработан и проверен электромагнитный сепаратор, снабженный концентраторами магнитного поля, а так же разработана методика расчета его основных электротехнологических параметров. Установлено, что эффективность извлечения ферромагнитных частиц в 99% при минимальных энергозатратах 0,4 кВт достигается за счет разработки новой конструкция электромагнитного сепаратора, содержащая: ферромагнитные спирали диаметром 2,5 мм в количестве 6 шт, установленные с шагом 11,2 мм, с числом витков 33 шт. Экспериментально решен вопрос повторного уноса ферромагнитных частиц с поверхности концентратора: удержание частиц возможно при силе тока в обмотке электромагнита сепаратора в 8 раз ниже номинальной при скорости потока пневмотранспорта 20 м/с.

Результаты исследований были использованы в сельском (фермерском) хозяйстве „Котон” Волчанского района Харьковской области, а так же переданы в ви-

де конструкторської документації фермерському господарству „Товстоган В.О.” Волчанського району Харківської області.

Економічна оцінка проведених досліджень (30 тис.грн./год) свідчить про доцільність впровадження в виробництво розроблених електромагнітних систем вилучення ферромагнітних частинок з дробленого зерна і муки.

Ключові слова: *магнітна частина, напруженість поля, вилучення, сепаратор, дослідження.*

ANNOTATION

Kuznetsov I.O. Substantiation of electrotechnological parameters of electromagnetic separators for extraction of iron-core particles from the crushed grain. - Manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of Cand.Tech.Sci. by speciality 05.09.16 - Electric technologies and electric equipment in agricultural production - Tavria State Agrotechnical Academy, Melitopol 2006y.

The presented dissertation work exposes the new decision of task of increase of efficiency of extraction of ferromagnetic particles from the shredded corn and flour on the base of the grounded theory and practice of co-operation of ferromagnetic with the high-gradient magnetic field by application of reflector-absorbers of the magnetic field.

The thesis is devoted to development of devices of extract of magnetic particles from grains and flours, and as methods of their simulation and calculation.

The carried out analysis has shown, that existing devices and systems for extract of magnetic particles from grains and flours are ineffective and do not suppose their insert in a general arrangement of automation of lines of processing.

The basic effect of theoretical researches is determining dynamic responses of migration of a magnetic particle in a working area of electromagnetic separators, with concentrators and without them, the mathematical model as system of the differential equations, linking parameters of bodies, environments and a magnetic field is formulated, designed and experimentally new devices and constructions of electromagnetic separators are researched.

Experimental verification of the basic theoretical positions is carried out.

The economic estimation of the carried out researches (30000 grn/year) testifies to expediency of an intrusion in manufacturing designed electromagnetic systems of extract of magnetic particles from grains and flours.

Key words: *a magnetic body, a field gradient, extract, a separator, research.*

Підписано до друку «9» 11 2006. Формат 145x215 (60x90/16)

Обсяг 0,9 ум. друк. арк. Тираж 100прим. Зам. № 18.

Надруковано в типографії Таврійської державної агротехнічної академії
72312, Запорізька обл., м. Мелітополь, пр. Б.Хмельницького, 18