

ТАВРІЙСЬКА ДЕРЖАВНА АГРОТЕХНІЧНА АКАДЕМІЯ

Хассай Дмитро Віталійович

УДК [631.234: 628.97]: 635.64

**ОБГРУНТУВАННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ
ПРИСТРОЇВ ВИЛУЧЕННЯ ФЕРОМАГНІТНИХ ТІЛ З ПОТОКІВ
ЗЕРНОВИХ МАТЕРІАЛІВ**

05.09.16 – Електротехнології та електрообладнання в агропромисловому
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, м. Мелітополь.

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

Офіційні опоненти:

- заслужений діяч науки і техніки України, доктор технічних наук, професор, **Іноземцев Георгій Борисович**, Національний аграрний університет, професор кафедри електрифікованих технологій в агропромисловому виробництві.

- кандидат технічних наук, доцент, **Пирожок Андрій Володимирович**, Запорізький національний технічний університет, доцент кафедри електроприводу та автоматизації промислових установок.

Провідна установа: Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка, Міністерства аграрної політики України.

Захист відбудеться «27» жовтня 2006 р. о 13⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 18.819.01 Таврійської державної агротехнічної академії за адресою: 72312, Україна, Запорізька обл. м. Мелітополь пр-т Б. Хмельницького, 18, навчальний корпус 1, конференцзал.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці ТДАТА за адресою: 72312, м. Мелітополь, пр-т Б. Хмельницького 18.

Автореферат розісланий «26» вересня 2006 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради _____ Діордієв В.Т.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Однієї з необхідних стадій технологій переробки зернових матеріалів, інших сипких є вилучення різних домішок, включаючи й феромагнітні. Феромагнітні домішки негативно впливають з одного боку на якість продукції (згідно ДСТУ 40.004 – 99, ГОСТ 276 – 60 і зоотехнічним вимогам вміст феромагнітних домішок у товарній пшениці повинен бути не більше 3 мг/кг, а в брикетованих і гранульованих кормах - 30 мг/кг); з іншого, більш крупні тіла, потрапляючи до робочих органів обладнання, нерідко сприяють виникненню аварійних ситуацій і, відповідно, простою технологічних ліній через ремонтні роботи.

Електромагнітні (магнітні) сепаратори, які застосовуються в даний час у різних технологічних лініях переробки зернових матеріалів для вилучення феромагнітних тіл (ФМТ), працюють неефективно: як правило, вони не включені в загальну схему автоматизації; вимагають постійної уваги з боку обслуговуючого персоналу; мають великі габаритно-масові характеристики, споживають значну кількість електричної енергії. Кількісний же показник - вміст феромагнітних домішок, значно перевищує (у 2-3 рази) допустимі норми. Це пояснюється тим, що вказане вище обладнання недосконале, частіше запозичене з горнорудної галузі з деякими конструктивними змінами, пов'язаними, в основному, з прив'язкою до існуючої системи машин та апаратів, яка реалізує конкретну технологію.

Тому постановка і рішення задач по вдосконаленню існуючих і розробці нових пристроїв вилучення феромагнітних домішок (ФМД) із зернових матеріалів актуальні.

Зв'язок роботи з науковими програмами планами, темами.

Виконані в дисертації дослідження є фрагментом або складовою частиною наступних програм і планів:

- Державної науково – технічної програми Міністерства України у справах науки і технологій 3.12 «Енерго і ресурсозбереження у сільськогосподарському виробництві»;

- Програми №1 науково – дослідних робіт Таврійської державної агротехнічної академії на 2001-2004, 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”, державний реєстраційний номер 0102V000685).

Мета і задачі досліджень. Метою дослідження є підвищення якості зернових матеріалів шляхом застосування удосконалених електромагнітних сепараторів, розроблених на базі теорії руху феромагнітних тіл в магнітному полі.

Для досягнення поставленої мети були сформульовані наступні задачі:

- проаналізувати існуючі технології і технічні засоби вилучення феромагнітних тіл з потоків зернових матеріалів і обґрунтувати шляхи їх вдосконалення;
- обґрунтувати і аналітично дослідити взаємодію магнітного поля з феромагнітними тілами, які знаходяться в потоках зернових матеріалів;
- розробити математичні моделі статичної і динамічної феромагнітних тіл у магнітному полі електромагнітних сепараторів;
- сформулювати методи розрахунку електромагнітних сепараторів;
- розробити конструкції енергозберігаючих пристроїв вилучення феромагнітних тіл з потоків зернових матеріалів і експериментально доказати їх високу ефективність.

Об'єкт досліджень – процеси взаємодії магнітного поля з феромагнітними тілами в потоках зернових матеріалів.

Предмет досліджень – закономірності і математичні моделі процесів взаємодії магнітного поля з феромагнітними тілами в потоках зернових матеріалів.

Методи досліджень. При проведенні теоретичних досліджень використано класичні закони і закономірності фізики (механіки, електротехніки) і методи математичного моделювання процесів і апаратів. Експериментальні дослідження в лабораторних і промислових умовах проводилися із застосуванням відповідних приладів і апаратури контролю, вимірювань, фіксації і ПЕОМ для вирішення завдань і обробки результатів спостережень.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Досліджено динаміку руху феромагнітних тіл в робочій зоні електромагнітного сепаратора і отримано залежності, які враховують взаємодію параметрів магнітного поля, середовища і феромагнітного тіла [3];

2. Вперше отримано залежність сили струму в обмотці сепаратора від відстані феромагнітного тіла по відношенню до магнітного полюсу електромагніту [2];

3. Розроблено математичну модель взаємодії феромагнітного тіла з магнітним полем, на базі якої дістало подальшого розвитку обґрунтування електротехнологічних параметрів електромагнітних сепараторів [8];

4. Отримано закономірності поведінки феромагнітних тіл і обґрунтовані процеси їх вилучення багатополюсним електромагнітним сепаратором [1];

5. Дістав подальшого розвитку метод розрахунку електромагнітних сепараторів для вилучення феромагнітних тіл із зернових матеріалів з відомими або наперед заданими електротехнологічними параметрами [12].

Практичне значення одержаних результатів

На базі досліджень розроблено метод розрахунку окремих вузлів і конструкцій електромагнітного сепаратора. Дослідні зразки перевірені в виробничих умовах на їх спроможність, працездатність, надійність та ефективність сепарації.

Розроблено пристрої для вилучення феромагнітних тіл із зернових матеріалів (Пат. 38894 Україна МПК⁷ B03C 1/08 Вібромагнітний сепаратор от 21.11.00, Пат. 1113 Україна МПК⁷ B03C 1/02 Електромагнітний сепаратор от 07.08.01, Пат. 48528А Україна МПК⁷ B03C 1/02 Електромагнітний сепаратор от 26.09.2001), основними перевагами яких є: енергозберігаючий режим роботи («очікуючий» - за відсутності феромагнітних тіл систему повністю знеструмлено) і економія електротехнічних матеріалів.

Результати досліджень у вигляді дослідних зразків апробовані на Мелітопольському маслоекстрактному заводі в лінії переробки насіння соняшника.

Особиста участь автора полягає в одержанні наступних результатів:

1. Аналізі законів і закономірностей, які описують поведінку феромагнітних тіл в процесі їх вилучення багатополюсним електромагнітним сепаратором [2].

2. Розробці і чисельному дослідженні на ПЕВМ математичних моделей вилучення феромагнітних домішок із зернових матеріалів [3, 8].

3. Проведенні теоретичних й експериментальних досліджень впливу сили струму в котушці електромагнітного сепаратора, шихтовки його магнітопровода та розміру феромагнітних тіл на процес їх вилучення [12].

4. Створенні нових окремих вузлів і конструкцій електромагнітних сепараторів, перевірки їхньої працездатності, проведені експериментальних досліджень і розробці методів розрахунку [14-16].

Апробація результатів дисертації. Основні положення роботи обговорювалися на наукових, науково-виробничих конференціях і семінарах:

- на міжнародній науково-технічній конференції „Землеробська механіка на межі сторіч” (секція №5 „Розробка наукових методів та технічних засобів раціонального використання енергоресурсів в АПК” с.м.т. Кирилівка, 28-31.05.2001р.);

- на щорічних науково-практичних конференціях Таврійської державної агротехнічної академії (1999-2004г.г.);
- Харківського державного аграрного університету сільського господарства (2000-2002 рр.).

Публікації. Основний зміст дисертації опублікований в 16 наукових роботах: 13 - спеціалізовані збірники, 3 - бюлетень відкриттів і винаходів «ПАТЕНТ» України.

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається з вступу, 4 розділів, висновків, списку використаної літератури й додатків. Загальний обсяг дисертації - 136 сторінок машинописного тексту (у т.ч. 35 рис., 6 табл.). Список використаної літератури містить 134 бібліографічних найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми по вилученню феромагнітних тіл із зернових матеріалів на основі аналізу існуючої інформації і безпосереднього обстеження ряду виробничих об'єктів; також сформульовані мета і завдання досліджень.

У першому розділі «**Аналіз існуючих пристроїв і систем вилучення феромагнітних домішок з потоків зернових матеріалів**» проаналізовані відомі основи теорії, методи розрахунку, способи і конструкції пристроїв вилучення феромагнітних домішок із зернових матеріалів.

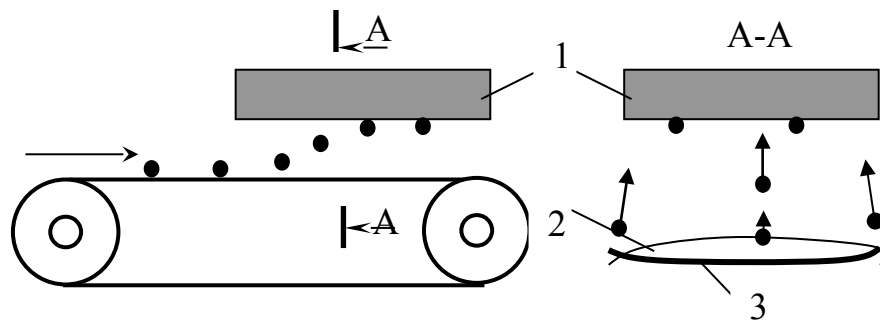
Розробці нових і вдосконаленню існуючих різних електротехнологічних пристроїв і систем в агропромисловому комплексі (АПК) і інших галузях народного господарства останнім часом приділяється велика увага, особливо з позицій енергоресурсозберігання, оскільки зараз і в найближчому майбутньому в Україні неминучий дефіцит енергетичних і матеріальних ресурсів.

Не зважаючи на вагомий внесок в різні області знань і галузі виробництва АПК, які сформувалися в минулі роки, і на існуючі тепер наукові школи на чолі з провідними вченими - Іноземцевим Г.Б., Корчемним Н.А., Кучиним Л.Ф., Мартиненко І.І., Овчаровим В.В., Просвірніним В.І., Савченко П.І. Черенковим О.Д., Черепневим А.С. (Україна), Басовим А.М., Бородіним І.Ф., Будзко І.А., Ізаковим Ф.Я., Кудрявцевим І.А., Пястоловим А.А., (Росія, Білорусь), проблема електрифікації (електропостачання, автоматизація сільськогосподарських процесів, електротехнології, експлуатація електрообладнання, включаючи технічний сервіс та ін.) все ще вимагає особливої уваги.

Проте слід зазначити, що різні системи, що експлуатуються в даний час, розроблялися і виготовлялися десятки років тому за часів бездефіцитної енергетики із закладеними в них неефективними конструкціями і неекономічними режимами роботи.

Прикладом тому можуть служити електромагнітні (магнітні) пристрої і системи, призначені для вилучення феромагнітних тіл з сипких матеріалів (зерна і його сумішей, насіннячкових, кормових компонентів, та інших), в основу яких закладений принцип взаємодії ФМТ з магнітними полями (рис. 1).

Аналіз існуючої інформації і обстеження пристроїв і систем вилучення феромагнітних домішок з зернових матеріалів на виробничих об'єктах показав,



1 – елемент електромагнітної системи; 2 - прошарок зерна з ФМТ; 3 - транспортер.

Рис. 1. Взаємне розташування об'єктів.

що більшість електромагнітних (магнітних) сепараторів неефективні, енергометалоємні, працюють в режимі постійного включення і не є ланкою в загальній схемі автоматизації технологічних ліній переробки зернових матеріалів. Крім того, ці недоліки сприяють виникненню аварійних ситуацій при потрапленні крупних тіл до робочих органів обладнання (рис. 2, 3).

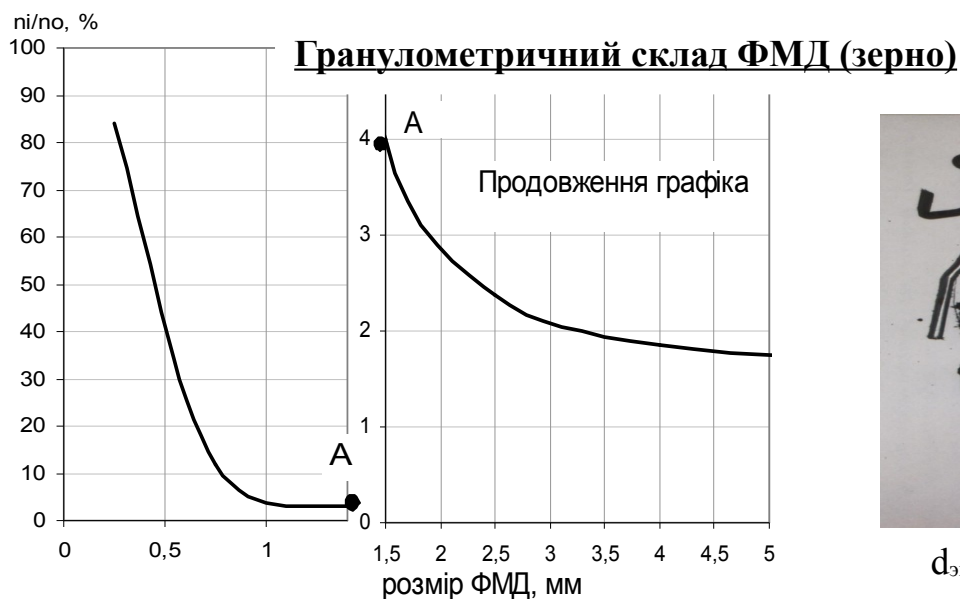
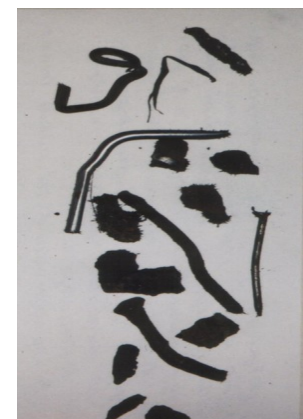


Рис. 2. Залежність – вміст ФМД від розміру.



$d_{\text{ЭКВ}} > 5 \text{ мм}$

Рис. 3. Феромагнітні

домішки

$d_{\text{ЭКВ}} > 5 \text{ мм}$

Тому розробка нових і удосконалення існуючих способів та пристроїв по вилученню феромагнітних домішок з зернових матеріалів у сільськогосподарському виробництві, особливо з позиції надійності роботи обладнання та економії електричної енергії, має велике народногосподарське значення.

У другому розділі «Математичні моделі вилучення феромагнітних тіл з зернових матеріалів» розглянуто питання теорії взаємодії феромагнітних тіл з магнітним полем (рис. 4).

На основі аналізу сил, що діють на ФМТ одержано залежність сили струму I від положення тіла, що знаходиться в шарі матеріалу, який транспортується, за умови рівності сил – магнітної F_M і тяжіння F_m :

$$F_M = \mu_0 \cdot \chi_T \cdot V \cdot \frac{\pi}{s \cdot \psi} \cdot (H_0)^2 \cdot e^{-\frac{2\pi}{s \cdot \psi} Y_P}; F_T = m \cdot g, \quad (1)$$

де μ_0 – магнітна постійна, що дорівнює $4 \cdot 10^{-7}$, Гн/м; χ_T – магнітна сприйнятливість тіла, б/р; V – об'єм тіла, м³; s – міжполюсна відстань, м; ψ – коефіцієнт неоднорідності поля; H_0 – напруженість поля на полюсах електромагніту, А/м; Y_P – рівноважна відстань, м; $m = \frac{(\pi \cdot d^3)}{6} \cdot \rho_2$ – маса тіла, кг; $g = 9,81$ – прискорення вільного падіння, м/с²; ρ_2 – щільність тіла, кг/м³.

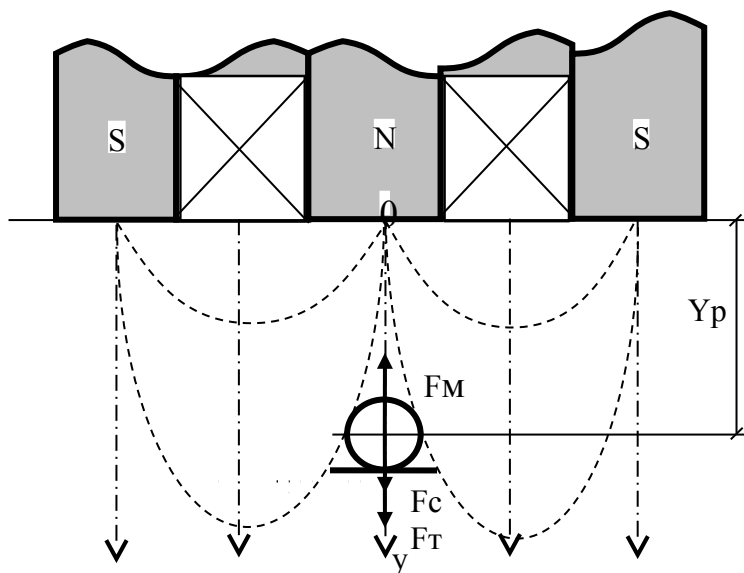


Рис. 4. Схема розташування ФМТ під полюсом електромагніта: F_M – сила магнітного поля; F_C – сила опору середовища; F_T – сила тяжіння.

Виражаючи (1) відносно $H = f(Y_P)$ отримано:

$$H_0^2 = \frac{s \cdot \psi'}{\pi} \cdot \frac{g}{\mu_0} \cdot \frac{\rho_2}{\chi_T} \cdot e^{\frac{2\pi}{s \cdot \psi'} Y_P}, \quad (2)$$

а потім (2) відносно сили струму $I(A)$ в обмотці, маємо:

$$I(Y_P) = \sqrt{\frac{\rho_2 \cdot s^3 \cdot g \cdot \psi'^3}{\pi \cdot \mu_0 \cdot \chi_T \cdot w^2}} \cdot e^{\frac{\pi}{s \cdot \psi'} Y_P} = A \cdot e^{\frac{\pi}{s \cdot \psi'} Y_P}, \quad (3)$$

де w – кількість витків обмотки електромагніту; A – передекспоненціальний множник.

Залежність (3) є визначальною, оскільки пов'язує основні параметри: електромагнітного сепаратора – силу струму I в обмотці, технології – відстань Y_P від поверхні полюсів до стрічки транспортера (товщина шару Y_P' зернового матеріалу), феромагнітного тіла – щільність ρ_2 , магнітну сприйнятливість χ_T і форму. Ця залежність дозволила сформулювати метод розрахунку електромагнітних сепараторів (4):

$$\left. \begin{aligned} Y_P' &= \frac{Q_{mp}}{U_{mp} \cdot k \cdot B \cdot \rho_{нв}} \\ s &= a + b; \quad l_{ср.витка} = 2(a + 2b + d); \quad q_1 = \frac{\pi \cdot d_{np}^2}{4}; \quad q_0 = h_1 \cdot b; \quad w = kz \cdot \frac{q_0}{q_1} \\ l_{обм} &= l_{ср.витка} \cdot W; \quad R_{обм} = \rho_m \cdot \frac{l_{обм}}{q_1}; \quad I = j \cdot q_1; \quad P = I^2 \cdot R_{обм}; \quad U = I \cdot R_{обм}. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

де Q_{mp} – продуктивність (подача) транспортера, кг/с; B – ширина транспортерної стрічки, м; U_{mp} – швидкість транспортерної стрічки, м/с; k – коефіцієнт, що враховує ширину шару на стрічці; $\rho_{нв}$ – насипна вага зерна, кг/м³; a – ширина полюса, мм; b – ширина вікна обмотки, м; $l_{ср.витка}$ – довжина середнього витка обмотки, м; d – ширина магнітопровода, м; q_1 – перетин дроту, мм²; d_{np} – діаметр обмотувального дроту, мм; q_0 – перетин вікна обмотки, м²; h_1 – висота вікна обмотки, м; kz – коефіцієнт заповнення вікна обмотки; $l_{обм}$ – довжина дроту обмотки, м; $R_{обм}$ – опір обмотки, Ом; ρ_m – питомий опір обмотувального дроту, Ом·м; j – щільність струму в обмотці, А/мм²; U – напруга на обмотці, В; P – потужність електромагніту, Вт.

Метод розрахунку рекомендується використовувати за наступних умов:

- при відомих значеннях електромагнітного сепаратора визначаються параметри шару зернових матеріалів, з якого ефективно вилучаються ФМТ;
- при відомих значеннях шару зернових матеріалів визначаються параметри сепаратора для ефективного вилучення ФМТ.

Метод розрахунку (3,4) не містить динамічних характеристик – швидкості, часу і шляху переміщення тіл, які вилучаються, тому для їх розрахунків і наукових досліджень була розроблена математична модель вилучення ФМТ з зернових матеріалів у вигляді системи диференціальних рівнянь.

Відповідно силам, що діють на ФМТ (рис. 4), і другого закону механіки, векторне рівняння має вигляд:

$$F_P = F_c + F_T + F_M, \quad (5)$$

де F_P, F_c, F_T, F_M – відповідно сили: результуюча, опору середовища, тяжіння і магнітного поля, Н.

Сили, що входять в (5), визначені і дорівнюють:

$$\left. \begin{aligned} F_M &= \mu_0 \cdot \chi_T \cdot V \cdot \frac{\pi}{s \cdot \psi'} \cdot (H_0)^2 \cdot e^{-\frac{2\pi}{s \cdot \psi'} y} \\ F_c &= \frac{(\lambda \cdot S \cdot \rho_c \cdot U^2)}{2}, \\ F_T &= m \cdot g, \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

де λ – коефіцієнт гідравлічного опору; S – поперечний перетин тіла, м²; ρ_c – щільність середовища, кг/м³.

Підставляючи (6) в (5) з урахуванням того, що $F_P = m \cdot a$, одержимо:

$$F_P = m \cdot a = \frac{(\lambda \cdot S \cdot \rho_c \cdot U^2)}{2} + g \cdot m - \mu_0 \cdot \chi_T \cdot V \cdot \frac{\pi}{s \cdot \psi'} \cdot (H_0)^2 \cdot e^{-\frac{2\pi}{s \cdot \psi'} Y_P}, \quad (7)$$

Стосовно конкретної електромагнітної системи, що створює магнітне поле (найчастіше це система відкрита багатополюсна, полярності, яка чередується, рис. 4) рівняння (7) в диференціальній формі прийме вигляд:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dU_Y}{dt} &= \frac{(3 \cdot \lambda \cdot \rho_c \cdot U^2)}{4 \cdot d1 \cdot \rho_2} - \mu_0 \cdot \frac{\chi_T}{\rho_2} \cdot \frac{\pi}{s \cdot \psi'} \cdot (H_0)^2 \cdot e^{-\frac{2\pi}{s \cdot \psi'} Y_P} + g; \\ \frac{dY_P}{dt} &= -U_Y. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

з початковими умовами: при $t = 0$; $t(0) = 0$; $U_Y(0) = 0$; $Y_P(0) = Y_P$.

Приймаючи, що швидкість переміщення феромагнітного тіла U_X по осі x рівна швидкості транспортера U_{mp} в горизонтальному напрямі, то шлях, що пройдений тілом по осі x дорівнює:

$$\frac{dx}{dt} = U_{mp}. \quad (9)$$

при $t(0) = 0$, $x(0) = 0$.

У випадку, якщо ФМТ знаходяться на центральній осі обмотки, це положення вважається нестійким, оскільки може переміщатися до будь-якого з полюсів - вправо або вліво.

Одержана система диференціальних рівнянь (8, 9) є математичною моделлю руху ФМТ в магнітному полі робочих зон сепараторів, що містять електромагніти з полюсами полярності, яка чередується (у разі інших форм змінюється F_M).

Багатократне числове рішення системи рівнянь (8) на ПЕОМ при варіюванні параметрів тіл - розмір d , щільність ρ_2 , магнітна сприйнятливність χ_t , - шару сипких або середовища-повітря - в'язкість, яка «здається», щільність ρ_c і поля - напруженість (H) дозволяють визначати динамічні характеристики – час (t), швидкість (U) і траєкторії (Y) руху ФМТ в робочій зоні, які є основними початковими даними для розробки, пристроїв вилучення феромагнітних тіл із зернових матеріалів.

Як приклад, на рис. 5-7 представлені результати числової інтеграції системи рівнянь (8, 9) для конкретних феромагнітних тіл і конструкції електромагнітного сепаратора.

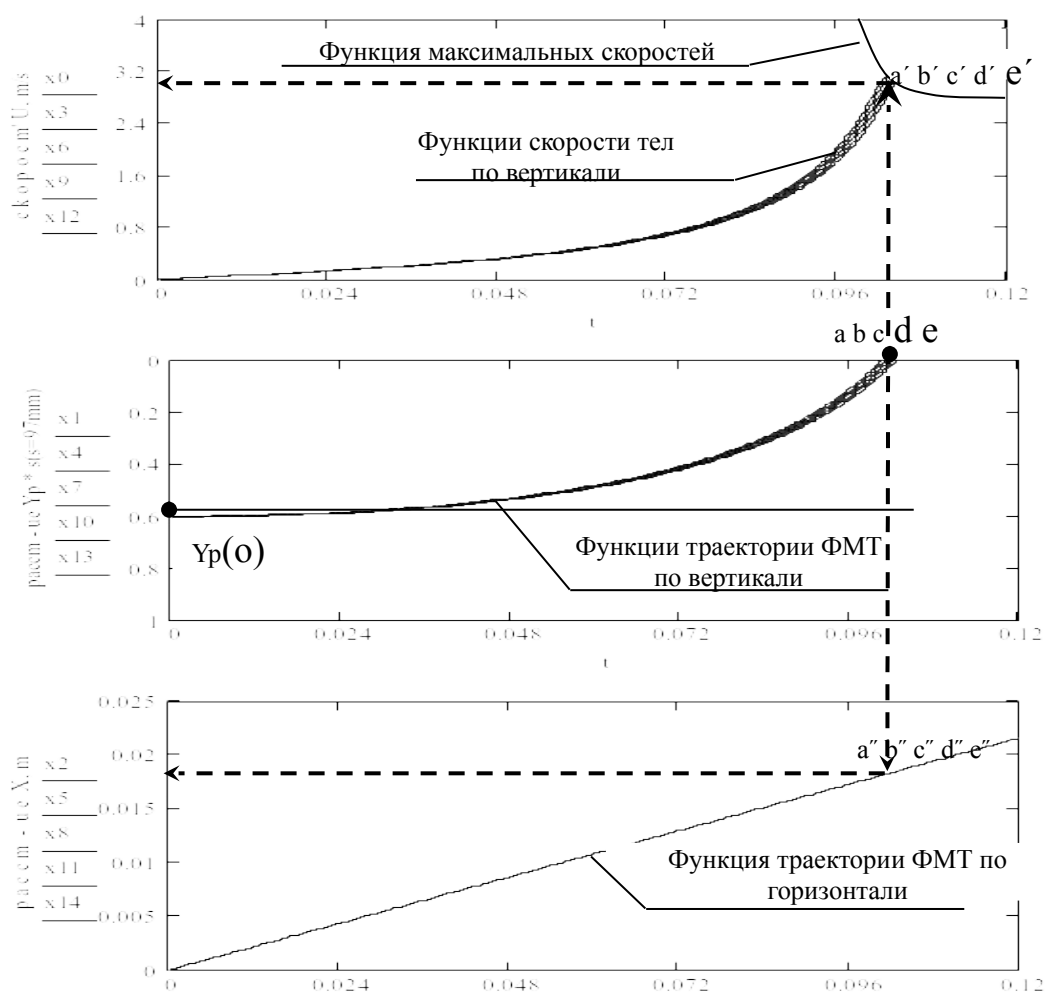


Рис. 5. Швидкість траєкторії та час руху ФМТ в робочій зоні електромагніту ($d_1=5\text{мм}$; $d_2=10\text{мм}$; $d_3=15\text{мм}$; $d_4=20\text{мм}$; $d_5=25\text{мм}$; $I_1=10\text{А}$; $Y_p(0)=0.6\text{с}$)

Як видно, зміна швидкості і траєкторії руху ФМТ розміром $d = 5 \dots 25$ мм ($\Delta d = 5$ мм) при силі струму в обмотці $I = 10$ А і початковій відстані положення тіла $Y_P(0) = 58,2$ мм, дорівнює $U = 3,01$ м/с, $t = 0,101$ с; теж, но з одним розміром ФМТ $d = 5$ мм при різних значеннях сили струму в обмотці $I = 10 \dots 30$ А ($\Delta I = 5$ А) $U = 3,01 \dots 10,8$ м/с, $t = 0,024 \dots 0,101$ с; теж, но при різних початкових положеннях тіла $Y_P(0) - \text{var}$ $U = 3,01 \dots 3,1$ м/с, $t = 0,101 \dots 0,15$ с. Цей варіант рішення рівнянь наглядно показує, що тіла, які розташовані нижче $Y_P(0) = 65$ мм не вилучаються і потрапляють в продукт.

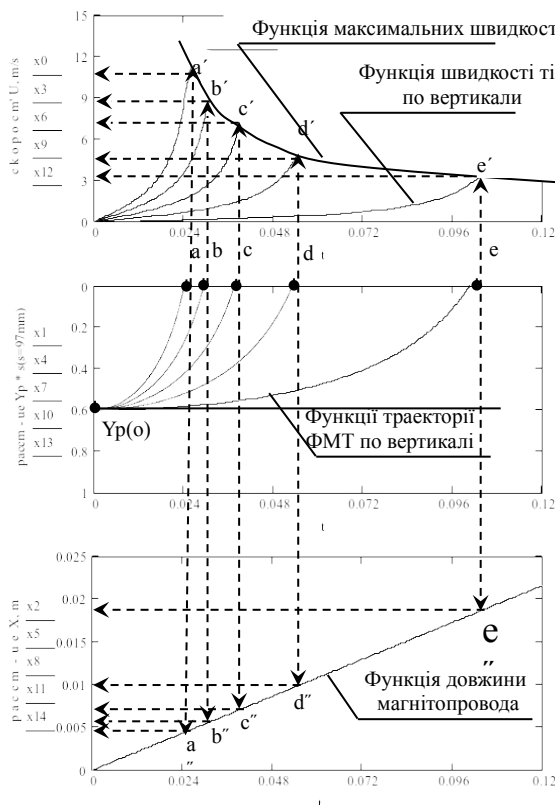


Рис. 6. Швидкість траєкторії та час руху ФМТ в робочій зоні електромагніту ($d_1 = 5$ мм; $I_1 = 10$ А; $I_2 = 15$ А; $I_3 = 20$ А; $I_4 = 25$ А; $I_5 = 30$ А; $Y_P(0) = 0.6$ с)

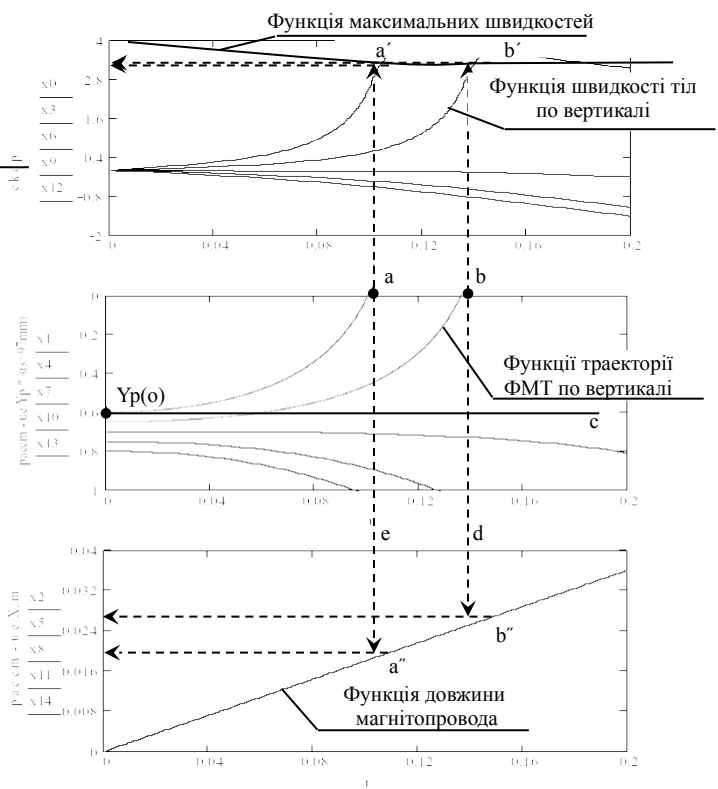


Рис. 7. Швидкість траєкторії та час руху ФМТ в робочій зоні електромагніту ($d_1 = 5$ мм; $I_1 = 10$ А; $Y_P(0) = 0.6$ с, $Y_P(0) = 0.65$ с, $Y_P(0) = 0.7$ с, $Y_P(0) = 0.75$ с, $Y_P(0) = 0.8$ с)

Фактично результати моделювання (рис. 5-7) є номограмою для визначення початкових даних при проектуванні електромагнітних сепараторів.

У третьому розділі «Розробка і експериментальне дослідження пристроїв вилучення феромагнітних тіл із зернових матеріалів» на основі аналізу існуючих конструкцій пристроїв і систем, а також теоретичних досліджень розроблені на рівні винаходів нові елементи, вузли і пристрої для вилучення феромагнітних тіл із зернових матеріалів (рис. 8 і 9).

Головною значущою особливістю пристрою [Пат. 38894 Україна МПК⁷ B03C 1/08 Вібромагнітний сепаратор от 21.11.00] (рис. 8), у порівнянні з відомими, є застосування локальної вібрації ділянки транспортерної стрічки, що знаходиться в робочій зоні електромагнітної системи, з метою переведення шару зерна у віброкиплячий стан, що приводить по-перше: до значного зменшення величини сили опору руху феромагнітних тіл, а по-друге до пере-

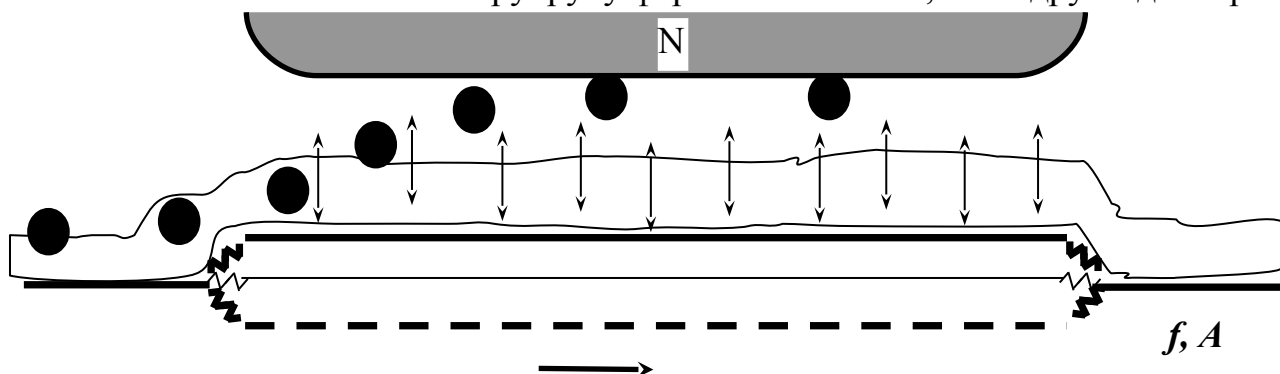


Рис. 8. Схема вібрації зернових матеріалів в робочій зоні сепаратора: f , A – частота і амплітуда вібрації.

міщення їх на поверхню шару.

Особливість іншого пристрою [Пат. 1113 Україна МПК⁷ B03C 1/02 Електромагнітний сепаратор от 07.08.01] (рис. 9) - шихтовка магнітопровода, яка полягає в тому, що він збирається з пластин, які чередуються, з електротехнічної сталі і немагнітного матеріалу, причому зовнішні пластини встановлюються тільки сталевими.

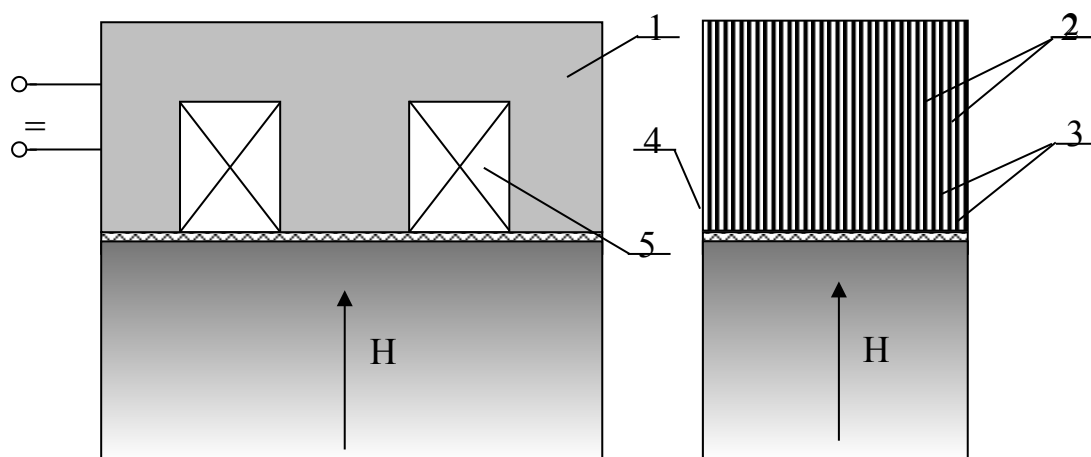
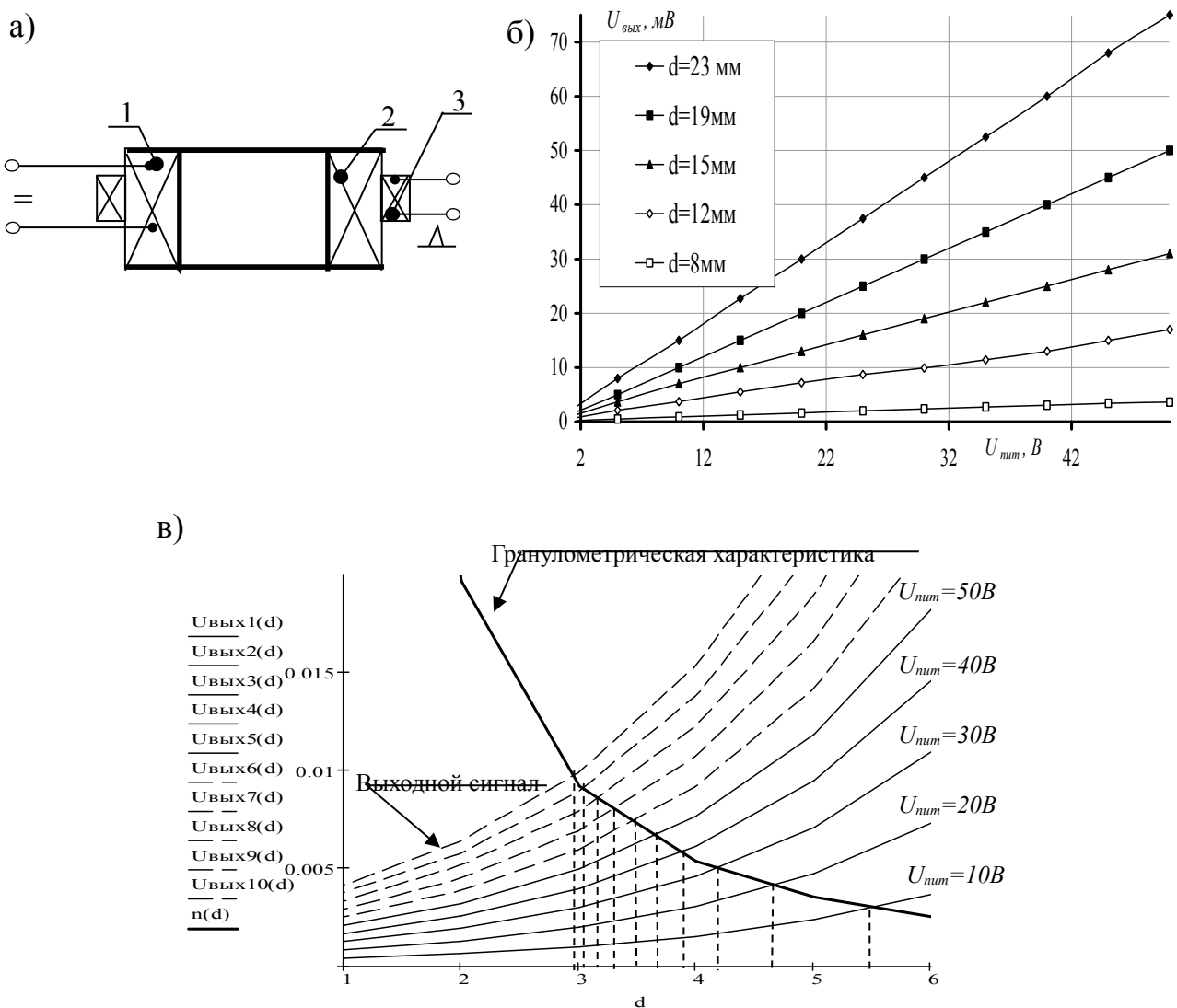


Рис. 9. Схема шихтовки магнітопровода сепаратора: 1 – магнітопровід; 2 – пластини електротехнічної сталі; 3 – пластини з немагнітного матеріалу; 4 – сталеві пластини; 5 – секційна обмотка.

Використання електромагнітного сепаратора такої конструкції дозволяє знизити споживання до 30 % електротехнічних матеріалів і електричної енергії з одночасним збільшенням якості сепарації зерна.

Наступним пристроєм (рис. 10, а), необхідним в технології вилучення ФМТ із зернових матеріалів є пристрій їх виявлення. Він розроблений на відомому способі – індукційному. За результатами експерименту, обробленими на ПЕОМ, побудовані графічні залежності (рис. 10, б), що пов'язують вихідну напругу пристрою виявлення з напругою живлення основної обмотки та номограма (рис. 10, в) визначення розміра ФМТ, який виявляється.



— - результати експерименту і розрахунку; --- значення, що прогножуються

Рис. 10. а) пристрій виявлення; б) залежність вихідного імпульсу від напруги живлення основної обмотки; в) номограма визначення розміра ФМТ, який виявляється (у відносних одиницях).

Таким чином, значною відмінністю пристрою виявлення від відомих є те, що він може бути налаштований на виявлення тіл залежно від їх розміру.

Електромагнітні сепаратори для вилучення феромагнітних тіл із зернових матеріалів магнітним полем і методи їх розрахунку (3,4,8,9) якісно (розкриття механізму вилучення) і кількісно (визначення числових значень електротехнологічних параметрів пристроїв) перевірялися на спеціально розробленій експериментальній установці (рис. 11).

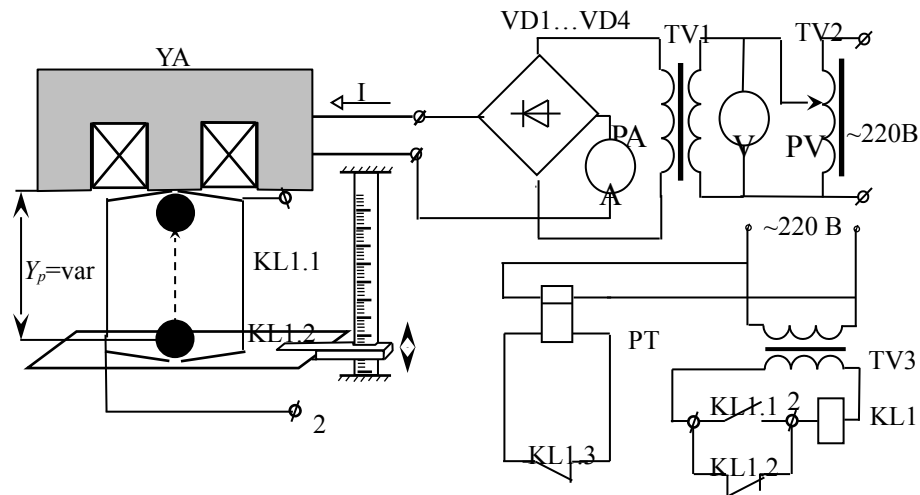


Рис. 11. Схема експериментального електромагнітного сепаратора.

Результати експериментальних досліджень показані на рис. 12-13.

Узагальнений аналіз експериментальних даних по різним феромагнітним тілам дозволив одержати емпіричну залежність для визначення сили струму I в обмотці залежно від положення тіла Y_P під полюсом сепаратора:

$$I(Y_P) = A \cdot e^{B \cdot Y_P}, \quad (10)$$

де A - передекспоненціальний множник ($A_{\text{шар}}=6,279$, $A_{\text{болт}}=3,0539$, $A_{\text{гайка}}=3,274$); B - степінний показник ($B_{\text{шар}}=0,0222$; $B_{\text{болт}}=0,0223$; $B_{\text{гайка}}=0,0232$).

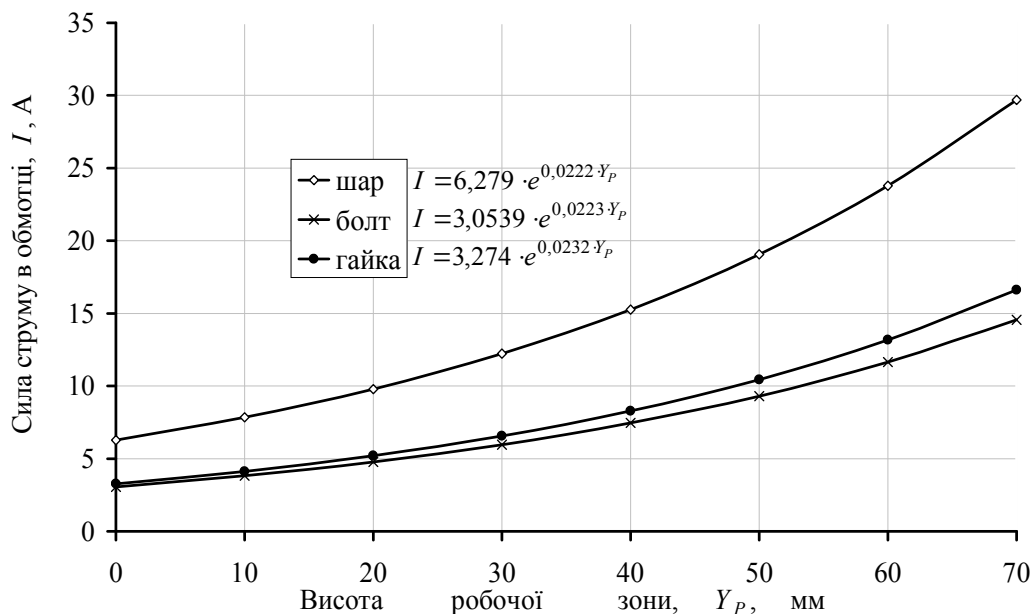


Рис. 12. Залежність сили струму в обмотці сепаратора від положення ФМТ у формі шара по висоті робочій зони: $I = f(Y_P)$.

Для зіставлення результатів - теоретичних (моделювання, розрахунків) з експериментальними залежностями для різних тіл, сили струму в обмотці

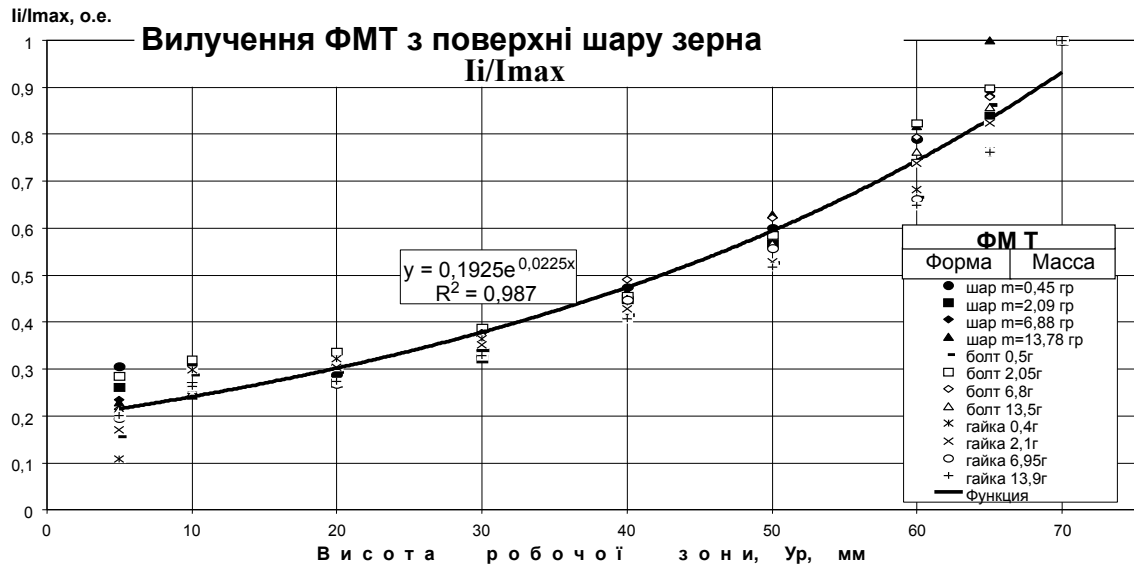


Рис. 13. Залежність сили струму в обмотці сепаратора від положення тіла по вертикалі: $I = f(Y_P)$.

сепаратора від положення тіл Y_P під полюсами електромагніту отримана залежність в відносних одиницях похибка якої з теоретичною не перевищує 12% (рис. 14).

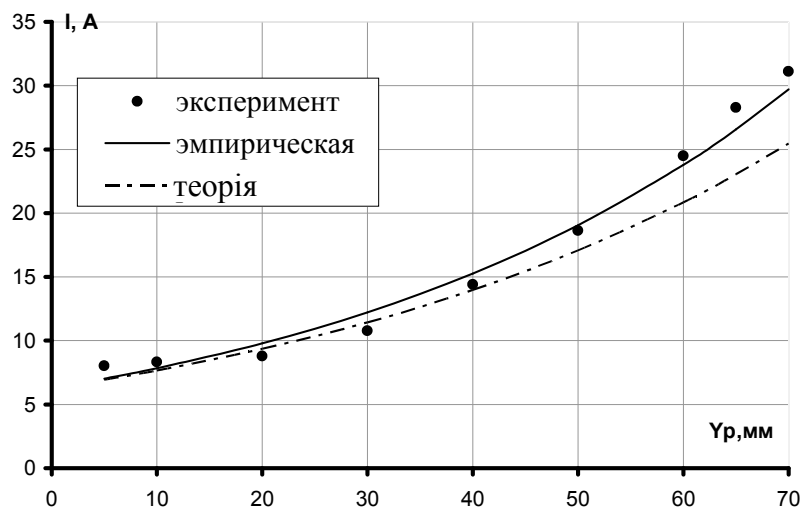


Рис. 14. Зіставлення експериментальних, теоретичних залежностей та методу інженерного розрахунку.

Аналіз цих результатів дозволив зробити висновок про доцільність застосування розроблених методів моделювання і інженерного розрахунку з уточненими коефіцієнтами ψ и χ_T для розробки електромагнітних сепараторів з ефективним використанням матеріало- і енергоресурсів.

В основу існуючого пристрою вилучення ФМТ із зернових матеріалів (рис. 15) закладені результати виконаних теоретичних і експериментальних досліджень.

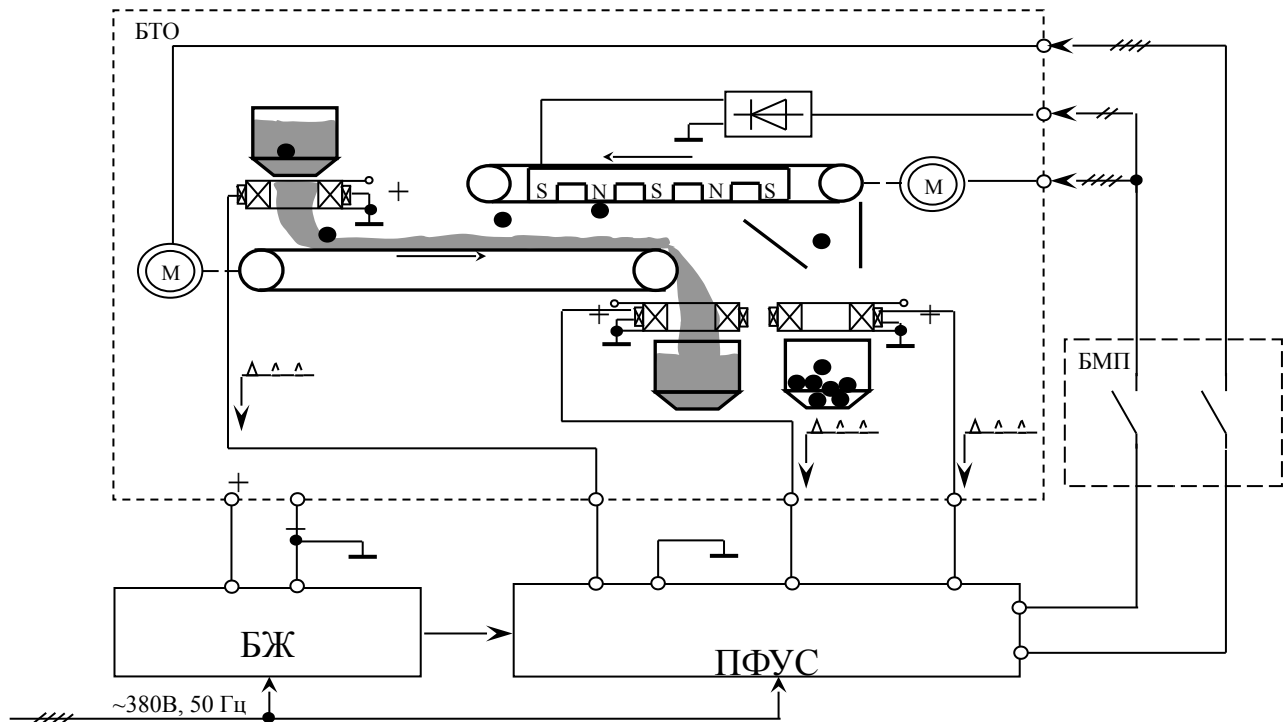


Рис. 15. Схема структурна пристрою вилучення ФМТ з зернових матеріалів: БТО – блок технологічного обладнання; БМП – блок магнітних пускатрів; ПФУС – пристрій формування управляючих сигналів; БЖ – блок живлення.

Працюючи у „очікуючому” режимі, цей пристрій дозволяє не тільки економити електричну енергію, але і запобігати аварійним ситуаціям, навіть у разі виходу з ладу електромагніту сепаратора.

Розробка пристрою здійснювалася з урахуванням вимог ГОСТ 15.001-88 до технічних завдань на вироби, що є обов'язком розробника. На розроблену систему вилучення ФМТ із зернових матеріалів підготовлена технічна документація в обсязі, необхідному для ухвалення рішень по проектуванню і подальшому впровадженню в технологічні схеми переробки зернових матеріалів.

Головними значними особливостями цього пристрою є:

- наявність пристроїв виявлення феромагнітних тіл перед і після робочої зони, що дозволяє системі працювати в режимі «очікування», а значить економити значну кількість електричної енергії, забезпечуючи якість їх вилучення.

- застосування шихтованного магнітопровода електромагнітного сепаратора дозволяє економити до 30% дорогих електротехнічних матеріалів без зниження якості вилучення феромагнітних тіл.

- застосування вібрації для переводу нерухомого шару зернових матеріалів на транспортерній стрічці в «киплячий» шар так само знижує енерговитрати на вилучення феромагнітних тіл з зернових матеріалів.

В четвертому розділі **«Рекомендації по застосуванню електротехнологічної системи вилучення феромагнітних тіл з потоків зернових матеріалів»** розроблені рекомендації по проектуванню, виготовленню, монтажу і експлуатації їх стосовно зернопереробних підприємств. Представлена також економічна оцінка доцільності застосування електротехнологічних пристроїв вилучення феромагнітних тіл з потоків зернових матеріалів (питоме зниження витрат склало 18%).

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі приведені теоретичне обґрунтування і нове рішення наукової задачі по вдосконаленню пристроїв вилучення з потоків зернових матеріалів ФМТ з визначенням закономірностей їх взаємодії з магнітним полем з подальшим вдосконаленням основ теорії і розробки методу розрахунку, який враховує взаємодію основних електротехнологічних параметрів з одночасними елементами ресурсоенергозбереження. Представлені в дисертації результати теоретичних і експериментальних досліджень дозволяють зробити наступні висновки:

1. Аналіз літературних досліджень і результатів обстеження сільгосппідприємств показали, що існуючі пристрої і системи вилучення феромагнітних тіл із зернових матеріалів малоефективні (ефективність вилучення не вище 68-75%), матеріало- і енергоємні (вага – до 1500 кг, встановлена потужність 3...4,5 кВт), не допускають включення їх в загальну схему автоматизації потокових ліній первинної і глибокої переробки (через ручне обслуговування). Тому завдання по вдосконаленню існуючих і розробці нових елементів і пристроїв вилучення в цілому, вельми актуальні.

2. На основі законів і закономірностей механіки і електротехніки, одержана і теоретично обґрунтована нова залежність для визначення сили струму в обмотці від положення тіла в робочій зоні електромагніту $I=f(Y_p)$ і, як наслідок, розроблений метод розрахунку електромагнітних сепараторів для потокових ліній по переробці зернових матеріалів, який враховує параметри: технологічні – продуктивність(подача) Q ; електротехнічні – напруга, яка живить U , потужність P , число витків W і перетин проводу обмотки qI ; магнітна сприйнятливість χ_T , фактор тіла N , який розмагнічує і геометричні розміри зернового шару – висота шару Y_p і магнітопровода (довжина $l \times$ ширина $d \times$ висота h). Для конкретного зразка: ширина стрічки транспортера $B=0,55$ м, продуктивність $Q=2,77$ кг/с, висота шару зернового матеріалу $Y_p=28,6$ мм, габарити магнітопровода рівні $0,633 \times 0,12 \times 0,36$ м, ширина полюса $a=0,082$ м, міжполюсний крок $s=0,273$ м, при цьому кількість витків обмотки дорівнює $W=2792$, сила струму $I=3,17$ А, встановлена потужність $P=0,453$ кВт.

3. Для визначення основних динамічних характеристик феромагнітних тіл в робочій зоні електромагніту розроблена математична модель їх вилучення з поверхні транспортуючого пристрою. Варіюючи параметрами тіл, середовища і магнітного поля, і вирішуючи задачу багато разів, визначаються як конструктивні, так і електротехнологічні параметри процесу і конструкції в цілому, що дозволяє визначити оптимальні умови для проектування зокрема багатополюсних електромагнітних сепараторів. Результати числового рішення системи диференціальних рівнянь дозволили визначити залежності швидкості U , траєкторії переміщення тіла по вертикалі y і горизонталі x у функції від часу t в магнітному полі робочої зони сепаратора при зміні різних параметрів системи вилучення (розмір тіл $d=5 \dots 25$ мм, сила струму в обмотці сепаратора $I=10 \dots 30$ А і висота підвісу електромагніту над транспортерною стрічкою $Y_p=58 \dots 77$ мм). При цьому час вилучення t не перевищує 0,15 с, максимальна швидкість вилучення $U=2,8$ м/с, а переміщення тіла по горизонталі x не перевищує 30 мм, що дозволяє визначати розміри робочої зони.

4. Розроблені нові елементи і конструкції електромагнітних сепараторів, які дозволяють економити електротехнічні матеріали (зменшення ваги магнітопровода до 30%) і електричну енергію (зменшення встановленої потужності не менше ніж на 1,5 кВт) при вилученні феромагнітних тіл із зернових матеріалів за рахунок вібрації шару в робочій зоні і нового способу шихтовки магнітопровода електромагніту сепаратора.

5. Експериментально-лабораторними і дослідно-промисловими випробуваннями підтверджені теоретичні залежності вилучення феромагнітних тіл із зернових матеріалів, які переміщуються стрічковими транспортерами. Встановлено, що у всіх випадках вид визначальної залежності експоненціальний; сила струму в обмотці залежить від положення тіла по вертикалі по відношенню до полюса; при збільшенні відстані від полюса до тіла в 7 разів сила струму в обмотці збільшується від 4(для болтів, гайок і шайб) до 5 (для шарів) разів, тобто вилучення тіл сферичної форми найбільш енергозатратне; відносна похибка теоретичних залежностей з експериментальними даними не перевищує 12 %.

6. Розроблені вузли і конструкції були перевірені у виробничих умовах. Запропоновані технічні рішення дозволили знизити до 30% матеріалоемність електромагнітного сепаратора, за рахунок використання шихтовки магнітопроводу і одержати зниження витрат на електроенергію до 0,146 грн/т, за рахунок впровадження системи «очікуючого» режиму, що дозволить знизити витрати на 4904 грн/рік.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Хассай Д.В. До технології вилучення феромагнітних тіл із сипких матеріалів // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. - Вип. 1, Т.11. - Мелітополь: ТДАТА. - 1999. – С.69-72.
2. Хассай Д.В. До розрахунку електромагнітних залізовіддільників для технологічних ліній // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Вип. 1, Т.15. – Мелітополь: ТДАТА. - 2000. – С.154 – 157.
3. Хассай Д.В. Математичне моделювання вилучення феромагнітних домішок із зерна та зернових сумішей // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. - Вип. 1, Т.24. - Мелітополь: ТДАТА. - 2001.– С. 91-96.
4. Просвірнін 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. *(Аналіз характеристик електромагнітних систем вилучення феромагнітних тіл з зерна і зернових сумішей).*
5. Хассай Д.В., Просвірнін В.І., Кузнецов І.О. Енергозберігаючі режими роботи електротехнологічних систем витягу феромагнітних домішок // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. - Вип. 1, Т.18. - Мелітополь: ТДАТА. - 2000. - С. 6-7. *(Запропоновано схему електрична принципову автоматизованого управління системою вилучення феромагнітних домішок з зерна та зернових сумішей).*

6. Хассай Д.В., Кузнецов И.О., Просвирнин В.И. Особенности расчета электротехнических систем извлечения ферромагнитных тел из зерна и зерновых смесей // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. – Вип. 3. – Харків: „Стас”. - 2000. - С. 77-80. *(Запропоновано метод розрахунку параметрів електромагнітних котушок)*.
7. Хассай Д.В., Кузнецов И.О., Просвирнин В.И. Алгоритм разработки электротехнических систем извлечения ферромагнитных тел из зерна и зерновых смесей // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. - Вип. 3. - Харків: „Стас”. - 2000. - С. 114-116. *(Розроблено структурну схему системи вилучення ферромагнітних тіл із застосуванням пристрою виявлення)*.
8. 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: БДПІ. - 2001. – С. 68 – 73. *(Запропоновано і обгрунтовано математичну модель вилучення ферромагнітних домішок з зерна та зернових сумішей)*.
9. Просвирнин В.И., Хассай Д.В., Митрофанов Є.А. Дослідження магнітного поля електромагнітних сепараторів і залізовіддільників // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. - Вип. 1, Т.19. - Мелітополь: ТДАТА. - 2001. - С. 4–7. *(Проведено дослідження розподілу напруженості магнітного поля на полюсах електромагніту)*
10. Богатирьов Ю.О., Хассай Д.В., Кудрявцев О.В. До розробки пристрою виявлення ферромагнітних домішок у сипучих матеріалах // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. - Вип. 1. - Мелітополь: ТДАТА. - 2002. – С. 56-61. *(Запропоновано і розглянуто принцип побудови пристрою виявлення ферромагнітних домішок)*.
11. Хассай Д.В., Кузнецов И.О., Гулевский В.Б. К вопросу совершенствования электротехнологических систем извлечения ферромагнитных тел из сыпучих материалов // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. - Вип. 1. - Мелітополь: ТДАТА. - 2002. – С. 61 –64. *(Запропоновано функціональну схему пристрою вилучення з використанням пристроїв виявлення і контролю якості вилучення)*.

12. Хассай Д.В., Богатырев Ю.О., Просвирнин В.И. Расчет электромагнитных сепараторов // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. - Вип. 24. - Мелітополь: ТДАТА. - 2004. – С. 65-75. *(Приведено інженерний метод розрахунку електромагнітних сепараторів, який дозволяє визначити його основні технологічні та електротехнічні параметри).*
13. 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).*
14. Пат. 1113 Україна МПК⁷ B03C 1/02 Електромагнітний сепаратор / Просвирнин В.І., Хассай Д.В., Кузнецов І.О. (Україна). - № 2001031637; Заявл. 12.03.2001; Опубл. 17.12.2001; Бюл. № 11. *(Запропоновано і обгрунтовано новий спосіб шихтовки магнітопровода електромагніта сепаратора).*
15. Пат. 38894 Україна МПК⁷ B03C 1/08 Вібромагнітний сепаратор / Просвирнин В.І., Хассай Д.В., Кузнецов І.О. (Україна). – 2000116546; Заявл. 21.11.2000; Опубл. 15.05.2001, Бюл. № 4. *(Запропоновано і обгрунтовано конструкцію, що дозволяє економити електротехнічні матеріали і електричну енергію при вилученні феромагнітних тіл з зернових матеріалів за рахунок вібрації шару у робочій зоні).*
16. Пат. 48528А Україна МПК⁷ B03C 1/02 Електромагнітний сепаратор / Просвирнин В.І., Хассай Д.В., Кузнецов І.О. (Україна). - № 2001096583; Заявл. 26.09.2001; Опубл. 15.08.2002; Бюл. № 8. *(Запропоновано і обгрунтовано конструкцію ефективної системи регенерації полюсів електромагніту).*

АНОТАЦІЯ

Хассай Д.В. Обґрунтування електротехнологічних параметрів пристроїв витягу феромагнітних тіл з потоків зернових матеріалів. - Рукопис.

Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук за фахом 05.09.16 – електротехнології й електроустаткування в агропромисловому комплексі. Таврійська державна агротехнічна академія. Мелітополь, 2006.

Дисертація присвячена розробці пристроїв витягу феромагнітних тіл із зернових матеріалів і методів їхнього моделювання і розрахунку.

Проведений аналіз показав, що існуючі пристрої і системи для витягу феромагнітних тіл із зернових матеріалів, малоефективні, енергоємні і не допускають включення їхній у загальну схему автоматизації ліній переробки.

Основні результати теоретичних досліджень наступні:

- для визначення динамічних характеристик переміщення ФМТ у робочій зоні електромагнітних сепараторів сформульовано математичну модель у вигляді системи диференціальних рівнянь, що пов'язує параметри тіл, середовища і магнітного поля,

- для розрахунку пристроїв витягу феромагнітних тіл із зернових матеріалів отримана залежність, що пов'язує основні електротехнологічні параметри,

- для потокових ліній по переробці зернових матеріалів розроблено метод розрахунку електромагнітних сепараторів.

Розроблено й експериментально досліджено нові елементи і конструкції електромагнітних сепараторів.

Проведено експериментальну перевірку основних теоретичних положень, відносна похибка не перевищувала 12 %.

Економічна оцінка проведених досліджень свідчить про доцільність впровадження у виробництво розроблених пристроїв вилучення феромагнітних тіл із зернових матеріалів.

Ключові слова: феромагнітне тіло, напруженість поля, вилучення, сепаратор, дослідження.

АННОТАЦИЯ

Хассай Д.В. Обоснование электротехнологических параметров устройств извлечения ферромагнитных тел из потоков зерновых материалов. - Рукопись.

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

Диссертация посвящена разработке устройств извлечения ферромагнитных тел из зерновых материалов и методов их моделирования и расчета.

Электромагнитные (магнитные) сепараторы, применяемые в настоящее время в различных технологических линиях переработки зерновых материалов для извлечения ферромагнитных тел, работают неэффективно: чаще всего они не включены в общую схему автоматизации; требуют постоянного внимания со стороны обслуживающего персонала; имеют большие габаритно-массовые характеристики и потребляют значительное количество электрической энергии. Это объясняется тем, что указанное выше оборудование несовершенно, чаще заимствовано из горнорудной отрасли с некоторыми конструктивными изменениями, связанными в основном, с привязкой к существующей системе машин и аппаратов, реализующей конкретную технологию.

Поэтому постановка и решение задачи по совершенствованию существующих и разработке новых энергоресурсосберегающих устройств для извлечения ферромагнитных примесей из зерновых материалов являются актуальной и экономически выгодной при переработке зерновых материалов.

Анализ существующих методов расчета электромагнитных сепараторов показал их несовершенство, неприменимость для расчета всего многообразия конструкций электромагнитных сепараторов.

Для определения зависимостей, учитывающих основные технологические и электротехнические параметры, влияющие на процесс извлечения, проведены теоретические и экспериментальные исследования по определению статических и динамических характеристик, описывающих процесс извлечения ФМТ из зерновых материалов. Предложена новый принцип извлечения ФМТ, основанный на применении подвибрации зернового материала, в результате которой, ФМТ попадают на поверхность слоя зернового материала.

Основные результаты теоретических исследований следующие:

- для определения динамических характеристик перемещения ФМТ в рабочей зоне электромагнитных сепараторов сформулирована математическая модель в виде системы дифференциальных уравнений, связывающая параметры ФМТ, среды и магнитного поля,
- для расчета устройств извлечения ферромагнитных тел из зерновых материалов предложена зависимость, связывающая основные электротехнические и технологические параметры ФМТ, с учетом нового принципа извлечения,
- для поточных линий по переработке зерновых материалов составлен новый метод расчёта электромагнитных сепараторов.

Разработаны и экспериментально исследованы новые элементы и конструкции электромагнитных сепараторов.

Разработаны устройства для исследования ферромагнитных тел из зерновых материалов, основными достоинствами которых являются: энергосберегающий режим работы («ждущий» - при отсутствии ферромагнитных тел систему полностью обесточено) и экономия электротехнических материалов.

Результаты исследований в виде опытно-промышленных образцов апробированы на Мелитопольском маслоэкстрактном заводе в линии переработки семян подсолнечника.

Проведена экспериментальная проверка основных теоретических положений, относительная погрешность которой не превышала 12 %, что свидетельствует о достоверности результатов исследований.

Экономическая оценка проведенных исследований свидетельствует о целесообразности внедрения в производство разработанных устройств извлечения ферромагнитных тел из зерновых материалов.

Ключевые слова: ферромагнитное тело, напряженность поля, извлечение, сепаратор, исследование.

ANNOTATION

Khassaj D.V. Substantiation of electro technological parameters of devices of extraction of magnetic bodies from streams grain materials. - The Manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of Cand.Tech.Sci. On a specialty 05.09.16 - electro technologies and an electric equipment in agriculture. Tavrian State Agrotechnical Academy. Melitopol, 2006.

The dissertation is devoted to development of devices of extraction of magnetic bodies from grain materials and methods of their modeling and calculation.

The carried out analysis has shown, that existing devices and systems for extraction of magnetic bodies from grain materials, are ineffective do not suppose their inclusion in the general circuit of automation of lines of processing.

The basic results of theoretical researches the following:

- for definition of dynamic characteristics of moving it in a working zone of electromagnetic separators the mathematical model as system of the differential equations, connecting parameters of bodies, environments and a magnetic field is formulated,

- for calculation of devices of extraction of magnetic bodies from grain materials the dependence connecting the basic electrotechnological parameters is received,

- for product lines on processing grain materials, the method of calculation of electromagnetic separators is made.

New elements and designs of electromagnetic separators are developed and experimentally investigated.

Experimental check of the basic theoretical positions is carried out; the relative error did not exceed 12 %.

The economic estimation of the carried out researches testifies to expediency of introduction in manufacture-developed energy to save up resources devices of extraction of magnetic bodies from grain materials.

Key words: magnetic body, intensity of a field, extraction, separator, research.

Підписано до друку " 20 " вересня 2006 р.
Формат 60×90/16. Обсяг 0,9 авт. арк. Зам. № 3 Тираж 100 прим.
Надруковано в Таврійській державній агротехнічній академії.
Адреса: 72312, Україна, Запорізька обл., м. Мелітополь
пр-т Б. Хмельницького, 18