

DRUM-TYPE ELECTROMAGNETIC SEPARATOR

M. Yukhno, V. Zakharevych, V. Kuievda, Y. Kuievda
National University of Food Technologies

Key words:

*Separator
Drum
Electromagnets
Tensions
Parameters*

Article history:

Received 15.12.2014
Received in revised form
19.01.2015
Accepted 08.02.2015

Corresponding author:

M. Yukhno
E-mail:
npnuht@ukr.net

ABSTRACT

As a result of the inspection of pulleys constructions of electromagnetic separator, a design of electromagnetic separator was marked out, which is an electromagnetic system with fixed winding of direct current and a drum assembly with the hubs of the magnetic screen. The design of the proposed construction in comparison with the existing one is the electromagnetic system located on the sides of the drum, door lugs and four coils of magnetization mounted on the cores.

ЕЛЕКТРОМАГНІТНИЙ СЕПАРАТОР БАРАБАННОГО ТИПУ

М.І. Юхно, В.Б. Захаревич, В.П. Куєвда, Ю.В. Куєвда
Національний університет харчових технологій

У результаті огляду конструкції шківних електромагнітних сепараторів виділено конструкцію електромагнітного сепаратора, який являє собою електромагнітну систему, що має нерухому обмотку постійного струму, барабан у зборі з концентраторами магнітного поля й електромагнітний екран. Особливістю розробленої конструкції є розташування електромагнітної системи по обидва боки барабана, що являє собою секторні виступи, кожний із яких має два сердечники, закріплені на боковинах, а також чотири котушки намагнічування, змонтовані по одній на сердечниках. Розроблено математичні моделі для визначення продуктивності і раціональних параметрів магнітної сепарації шківних електромагнітних сепараторів.

Ключові слова: сепаратор, барабан, електромагніти, напруженість, параметри.

Постановка проблеми. Випуск високоякісної харчової продукції можливий тільки за умов використання сучасних видів технологічного обладнання. При отриманні продуктів харчування важливим елементом є видалення феромагнітних домішок із сировини для їх виробництва (зерно злакових культур для виробництва хліба і крохмалю, пророщене зерно злакових культур для вироб-

ництва хліба, пива і спирту, для кондитерських виробів — цукор, борошно, горіхи, какао тощо) і готової продукції в процесі переробки сировини (борошно, цукор-пісок, крохмаль, смакові й ароматичні речовини тощо). Для видалення феромагнітних домішок використовують магнітосепараційні пристрої різноманітних конструкцій. Окремий клас таких пристроїв, які відрізняються тим, що їх основою є обертові циліндричні магнітні системи (електромагнітні постійного струму або з постійними магнітами), складають шківні магнітні сепаратори. Вдосконалення існуючих і розробка нових конструкцій шківних електромагнітних сепараторів є актуальним і важливим завданням.

Застосування магнітної сепарації на підприємствах харчових виробництв має специфічні особливості: великий набір різноманітних за фізико-механічними властивостями сипучих матеріалів органічного та неорганічного походження; широкий діапазон розмірів часток суміші (від тонкодисперсних до крупнозернистих з включенням грудок та агломератів); відносно низький вихідний вміст у сипучому матеріалі магнітних домішок (десятки-сотні міліграм на кілограм суміші); широкий діапазон розмірів магнітних часток — від пиловидних до окремих сумішей розміром до десятка сантиметрів; суттєвий вплив сил адгезії і когезії при сепарації сипучих матеріалів. Реальною проблемою розробки нових конструкцій є відсутність методик розрахунку шківних сепараторів з урахуванням специфічних особливостей сировини і продуктів харчових виробництв.

Аналіз останніх досліджень. Питання теорії, розрахунку, удосконалення та застосування магнітних шківних сепараторів розглядалися у [5, 6, 7]. У наявних книгах з магнітної сепарації і обладнання для неї, або наводяться лише короткі відомості про основні експлуатаційні характеристики конструкцій магнітних шківів, що серійно випускаються, або сепарація безпосередньо магнітними шківками та їхній розрахунок трактується спрощено [2, 3] і без урахування специфічних особливостей сировини й продуктів харчових виробництв.

Мета дослідження. Вибір ефективного обладнання для магнітної сепарації сировини і харчових продуктів і розробка методик розрахунку продуктивності, силових і кінематичних параметрів шківних магнітних сепараторів.

Виклад основного матеріалу. У результаті огляду конструкцій шківних електромагнітних сепараторів виділена конструкція електромагнітного сепаратора, розробленого кафедрою електропостачання та енергоменеджменту Національного університету харчових технологій (патент України 13799А), який являє собою електромагнітну систему, що має нерухому обмотку постійного струму 3, барабан у зборі 1 з концентраторами магнітного поля 5 та електромагнітний екран 10 (рис. 1).

Барабан 1 складається з поздовжніх феромагнітних пластин 5 (концентратор магнітного поля), які скріплені між собою за допомогою немагнітних фланців 6 й охоплені по зовнішній поверхні немагнітною тонколистовою обичайкою. Барабан закріплений на валу 4, який приводиться до обертання з невеликою швидкістю за допомогою електродвигуна та редуктора.

Електромагнітна система розташована по боках барабана і являє собою секторні виступи 2, кожний із яких має два осердя, закріплені на боковинах 8, 9,

а також чотирьох котушок намагнічування 3, змонтованих по одній на кожному із згаданих вище осердь.

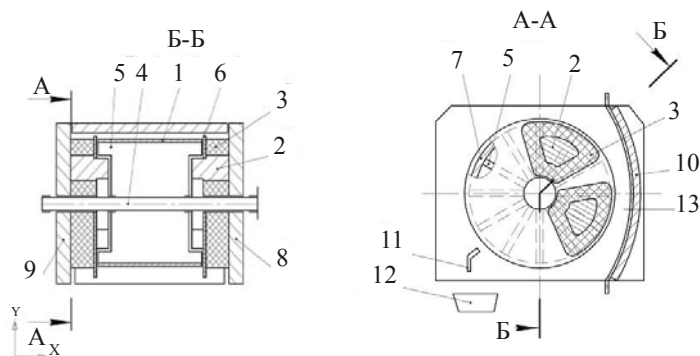


Рис. 1. Принципова схема електромагнітного сепаратора: 1 — барабан у зборі; 2 — секторні виступи; 3 — котушка намагнічування; 4 — вал; 5 — концентратори магнітного поля; 6 — торцева шайба; 7 — немагнітна обичайка; 8 — боковина права; 9 — боковина ліва; 10 — феромагнітний екран; 11 — скребок; 12 — бункер; 13 — робочий зазор

При живленні обмотки 3 постійним струмом в робочому зазорі 13 між обичайкою барабана 7 та феромагнітним екраном 10 утворюється нерівномірне електромагнітне поле із сильною концентрацією його в зонах зовнішніх ребер пластин 5, які прилягають до обичайки барабана. Це поле замикається навколо обмоток 3 через екран 10, боковин 8 та 9, вала 4 і феромагнітних пластини 5. Протилежна від екрана 10 поверхня барабана є розвантажувальною, тому що величина магнітного поля набагато менша, ніж у робочому зазорі. В зоні розвантаження встановлений скребок 11 з прокольною щіткою для очистки поверхні барабана від прилиплих магнітних частинок при обертанні барабана.

Робочою зоною сепаратора називається ділянка, на якій відбувається притягування магнітних частинок до робочого органа сепаратора (магнітного колеса), їх утримання на робочому органі і транспортування при можливому видаленні захоплених немагнітних частинок. Обмотка сепаратора живиться постійним струмом.

Експериментальна перевірка розробленої конструкції показала високу якість вилучення феромагнітних домішок (у тому числі і маломагнітної окалини) з цукру-піску — не менше, ніж 97—98 % від наявної кількості. У той же час існуючі електромагнітні сепаратори барабанного типу, що випускаються промисловістю, при сепаруванні цукру-піску вилучають з нього тільки на 60—70 % від наявної кількості феромагнітних домішок.

Розроблена конструкція порівняно з існуючими має такі переваги: неперервний автоматичний самовиніс феромагнітних добавок із зони сепарації і їх надійне саморозвантажування в окремий накопичувач; високий рівень напруженості магнітного поля і її градієнта, що дозволяє в 1,5—2 рази збільшувати силу вилучення малих феромагнітних частин з продукту та в 3—4 рази — силу утримання цих частинок на поверхні барабана в робочій зоні, що різко підвищує якість сепарації; низькі затрати електроенергії на живлення приводного двигуна

й обмотки електромагніта; можливість герметизації електромагнітної системи від потрапляння пиловидних відходів матеріалу, що сепарується, нерухомість обмоток електромагніта й відсутність ковзних контактів при передачі струму. Максимально припустима продуктивність сепаратора визначається: відділяючою здатністю сепаратора (здатністю відділяти магнітні частинки із шару чи потоку матеріалу за час проходження його через зону відділення); транспортувальною здатністю сепаратора (здатністю робочого органу транспортувати магнітні продукти із зони відділення до місця розвантаження); пропускну здатністю сепаратора, що характеризується максимальною кількістю матеріалу, яку сепаратор здатен пропускати за одиницю часу.

Перераховані вище критерії продуктивності сепаратора знаходяться в тісному зв'язку і визначаються впливом значної кількості факторів, що залежать від фізико-механічних особливостей збагачуваної сировини і конструктивних параметрів сепараторів.

Відділяюча здатність сепаратора в основному залежить від умовної магнітної сили, крупності феромагнітних домішок, магнітної здатності до сприйняття магнітних частинок і вмісту їх в сировині чи готовій продукції, довжини та глибини зони відділення і сил опору руху магнітних частинок до робочого органу (магнітного колеса).

Транспортувальна здатність сепаратора залежить від колової швидкості обертання робочого органу (магнітного колеса) і максимально допустимого навантаження магнітного продукту на одиницю поверхні робочого органу. Остання залежить від конструкції робочого органу і магнітної сили, що утримує магнітний продукт на його поверхні. Пропускна здатність сепаратора визначається довжиною, висотою і шириною робочої зони, швидкістю переміщення сировини через неї, яка залежить від конструкції сепаратора, його робочої зони, швидкості обертання робочого органу, фізичних властивостей матеріалу. На даний час немає достатньо точних математичних формул для визначення максимально допустимої продуктивності сепаратора, що враховує всі перераховані фактори.

У промисловій практиці максимально допустима продуктивність сепаратора визначається дослідним шляхом. Для орієнтованого розрахунку на підставі експериментальних досліджень, виконаних на кафедрі електропостачання та енергоменеджменту НУХТ, максимальна продуктивність Q , кг/год сепаратора з верхньою подачею вантажу визначалась таким чином:

$$Q = 36 \cdot a_M \cdot \gamma_p \cdot v \cdot \rho \cdot z \cdot d^1 \cdot b, \quad (1)$$

де a_M — коефіцієнт, що враховує вміст магнітних частинок у початковій сировині чи готовій продукції ($a_M = 0,7$ при $a_M = 70\%$, $a_M = 1$ при $a_M = 50\%$, $a_M = 1,3$ при $a_M < 30\%$); γ_p — коефіцієнт заповнення шару потоку сировини ($\gamma_p = 0,2$ для некласифікованого матеріалу з верхнім d^1 і нижнім d^{11} границями крупності); v — швидкість транспортування сировини через зону відділення, м/с; ρ — щільність вантажу, т/м³; z — кількість шарів, що залежить від крупності сировини (для сильно магнітних домішок $z = 1$ при $d^1 > 2,5$ см; $z = 1 \div 2$ при $2,5$ см $> d^1 > 0,8$ см, $z = 3 \div 5$ при $0,8$ см $\geq d^1 \geq 0,2$ см, $z = 5 \div 10$ при

$d^1 < 0,2$ см; для слабомагнітних включень менше $0,3$ см $z = 1 \div 3$); b — ширина шару подачі матеріалу, м.

Вигляд геометрії робочої зони барабанного електромагнітного сепаратора за патентом України UA 14617 A (Бюл. № 2 від 25.04.1997) для розрахунку розподілення магнітного поля в ній і зусиль, що діють на феромагнітні частки, які вилучаються магнітним полем з потоку сипкого продукту, представлений на рис. 2.

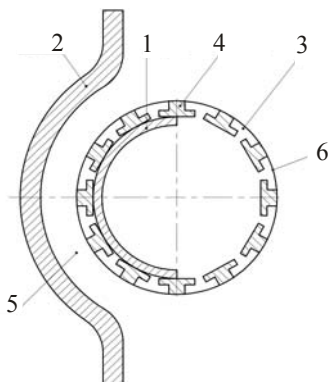


Рис. 2. Геометрія робочої зони барабанного сепаратора

Магнітне поле створюється обмоткою постійного струму (рис. 1) та проходить від нерухомого сегментного полюса 1 до нерухомого феромагнітного екрана 2 крізь закріплені на барабані 3, що обертається, феромагнітні ребра 4, розташовані вздовж вісі барабана 3. Між ребрами 4 і екраном 2 існує робочий канал 5, який створюється за допомогою тонкостінної немагнітної обичайки 6, що охоплює по зовнішній поверхні ребра 4 барабана вздовж усієї його довжини. Між ребрами барабана 3 з їх внутрішнього боку та нерухомим сегментним полюсом 1 є невеликий технологічний зазор, який у десятки разів менший за робочий зазор 5.

Розрахунок магнітного поля в робочій зоні сепаратора проводиться методом кінцевих елементів при представленні цього поля двовимірним, де розрахункова область має межу у вигляді n — ланкової ломаної, коли на кожній ланці задана крайова умова або першого або другого роду. При цьому магнітний векторний потенціал \bar{A} та вектор щільності струму $\bar{\delta}$ мають тільки по одній складовій $\bar{A} = (0, 0, A_2)$ та $\bar{\delta} = (0, 0, \delta_2)$, що дозволяє значно спростити поставлену задачу [1].

Величини магнітних зусиль, що діють на феромагнітні частинки в магнітному полі робочої зони сепаратора, можна визначити за формулою [2]:

$$F_M = \mu_0 \cdot x_T \cdot V \cdot H \cdot \text{grad}(H), \quad (2)$$

де V — об'єм частки; м^3 ; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ — магнітна проникність повітря, Гн/м;

$x_T = \frac{x}{1 + Nx}$ — магнітна сприйнятливості феромагнітної частки; $x = (\mu_a / \mu_0) - 1$ —

магнітна сприйнятливості речовини, з якої складається феромагнітна частинка;

μ_α — магнітна проникність феромагнітної частинки, Гн/м; N — коефіцієнт розмагнічування (для частинок у вигляді кулі $N = 1/3$; для частинки, витягнутої в одному напрямку $N \equiv 0,16$); $H = B/\mu_0$ — напруженість магнітного поля в точці, де знаходиться феромагнітна частинка, А/м; $\text{grad}(H)$ — градієнт напруженості магнітного поля, А/м², тобто вектор, що являє собою похідну абсолютної величини напруженості у даній точці за напрямком її максимального збільшення.

При використанні сепаратора як приводного барабана стрічкового конвеєра необхідно знати параметри магнітної сепарації: товщину шару матеріалу над шківом і необхідну силу вилучення феромагнітних домішок із шару матеріалу, що сепарується.

Товщина шару матеріалу над шківом визначається за формулою [3]:

$$h_0 = h_M - 0,5 \cdot g \left(h_M \cdot \text{ctg} \frac{\alpha}{\nu} \right)^2, \quad (3)$$

де h_M — товщина шару матеріалу на конвеєрі; α — кут природного нахилу; ν — швидкість робочого органа конвеєрів; $g = 9,81$ м/с² — прискорення вільного падіння.

Необхідна сила вилучення феромагнітних домішок для вмонтованих електромагнітних шківів визначається за формулою (2), а при проектуванні електромагнітних сепараторів барабанного типу за формулою [3]:

$$F_M = \frac{2 \cdot K_\theta \cdot m \cdot \gamma}{\pi \cdot C_B} \left[1 - \left(\frac{R + h_{\text{стр}}}{R + h_{\text{стр}} + h_0} \right)^{C_B} \right], \quad (4)$$

де K_θ — константа швидкісних параметрів потоку сипкого матеріалу при скиданні його зі шківа; m — маса тіла, що вилучається; γ — приведений (на одиницю маси) експериментальний коефіцієнт опору тіл різних форм (табл. 3.3 [3]), с⁻¹; C_B — константа з апроксимації, що характеризує розподіл напруженості поля над серединою між полюсного зазору, яка залежить від типорозміру шківа; R — радіус барабана, м; $h_{\text{стр}}$ — товщина стрічки, м.

При проектуванні електромагнітних сепараторів барабанного типу потрібне зусилля витягування домішок можливо визначити за апроксимованим виразом [3]:

$$F_M = \frac{3}{7 \cdot \pi} \cdot \gamma \cdot \nu \cdot \left[1 - \left(\frac{R + h_{\text{стр}}}{R + h_{\text{стр}} + h_0} \right)^7 \right].$$

Орієнтація цієї сили в проектних розрахунках під кутом 45° у робочій зоні сепаратора.

При сепаруванні сировини для отримання харчових продуктів і готової продукції в процесі переробки сировини доцільно використовувати вищерозглянутий електромагнітний сепаратор, при проектуванні якого застосовують одержані залежності для визначенню продуктивності, геометричних, кінематичних і силових параметрів.

Висновки

Вилучення високомагнітних домішок за допомогою запропонованого сепаратора є практично стовідсотковим для всього спектра фракцій, що зустрічаються в сипких матеріалах. Методика визначення необхідної сили витягання домішок адекватно відображає реальні процеси при сепарації сипких матеріалів, є практично прийнятною і може бути використана в практиці їх проектування.

Література

1. Гамалея Р.В. Алгоритмы расчёта магнитного поля и усилий, действующих на ферромагнитные частицы в активной зоне барабанных электромагнитных сепараторов / Р.В. Гамалея, Ю.В. Куевда // Техническая электродинамика. — 1995. — № 1. — С. 8—12.
2. *Справочник по обогащению руд. Основные процессы* / Под ред. О.С. Богданова: 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Недра, 1980. — 582 с.
3. Загирняк М.В. Исследование, расчет и усовершенствование шкивных магнитных сепараторов: Монография. — К.: ИЗМН, 1996. — 488с.
4. Загирняк М.В. Расчет необходимой силы при сепарации электромагнитными шкивами / М.В. Загирняк, Ю.А. Бранспиз. — Изв. вузов. Горный журнал. — 1988. — № 1. — С. 94—99.
5. Загирняк М.В. Зарубежные конструкции магнитных железоотделителей: Обзор. — М.: ЦНИИТЭИтяжмаш, 1988. — 36 с.
6. Кармазин В.В. Магнитные и электрические методы обогащения / В.В. Кармазин, В.И. Кармазин. — М.: Недра, 1988. — 304 с.
7. *Основы теории электрических аппаратов* / И.С. Таев, Б.К. Буль, А.Г. Годже-ло и др. — М.: Высш. школа, 1987. — 352 с.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ СЕПАРАТОР БАРАБАННОГО ТИПА

М.И. Юхно, В.Б. Захаревич, В.П. Куевда, Ю.В. Куевда

Национальный университет пищевых технологий

В результате исследования конструкций шкивных электромагнитных сепараторов выделена конструкция электромагнитного сепаратора, который представляет собой электромагнитную систему, имеющую неподвижную обмотку постоянного тока, барабан в сборе с концентраторами магнитного поля и электромагнитный экран. Особенностью разработанной конструкции по сравнению с существующими есть расположение электромагнитной системы по бокам барабана, представляющей собой секторные выступы, каждый из которых имеет два сердечника, закреплённых по бокам, а также четыре катушки намагничивания, смонтированных по одной на сердечниках. Разработаны математические модели по определению производительности и рациональных параметров магнитной сепарации шкивных электромагнитных сепараторов.

Ключевые слова: сепаратор, барабан, электромагниты, напряжённость, параметры.