

<https://doi.org/10.30857/2786-5371.2021.5.1>

УДК 621.318

¹ШВЕДЧИКОВА І. О., ²РОМАНЧЕНКО Ю. А., ²МЕЛКОНОВА І. В.

¹Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

²Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, Северодонецьк, Україна

ОЦІНЮВАННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПОЛЮСНОЇ СИСТЕМИ МАТРИЦІ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО СЕПАРАТОРА

Мета. Вибір співвідношень геометричних розмірів системи полюсів матриці поліградієнтного електромагнітного сепаратора для підвищення продуктивності при збереженні надійності вилучення феромагнітних домішок з сипкого матеріалу.

Методика. Для розв'язання динамічної задачі щодо руху феромагнітного тіла в робочому проміжку полюсної системи матриці поліградієнтного сепаратора під впливом зовнішнього магнітного поля використані відомі методи розв'язання лінійних неоднорідних диференціальних рівнянь. Для підтвердження достовірності отриманих результатів задіяний метод експериментальних досліджень.

Результати. Здійснено постановку динамічної задачі про рух феромагнітного тіла в робочому проміжку пластинчастої полюсної системи матриці поліградієнтного сепаратора. Отримано параметричне рівняння траєкторії вилучення феромагнітного тіла та розрахункове співвідношення, що пов'язує між собою основні геометричні розміри системи полюсів матриці. Результати розрахунків підтверджено експериментальним шляхом та практикою експлуатації відомих магнітосепаруючих пристроїв.

Наукова новизна. Набув подальшого розвитку математичний опис робочого процесу поліградієнтного електромагнітного сепаратора з пластинчастою матрицею, що дозволило отримати аналітичний вираз, який враховує основні геометричні розміри робочого простору матриці сепаратора.

Практична значимість. Врахування отриманої аналітичної залежності між довжиною зони сепарації та повітряним проміжком, який характеризує товщину шару сепарованого матеріалу, через яку необхідно пройти феромагнітному тілу в процесі сепарації, дозволить забезпечити необхідну чистоту та продуктивність сепарації.

Ключові слова: електромагнітний сепаратор; матриця з феромагнітними елементами; продуктивність; ефективність вилучення феромагнітних включень.

Вступ. Найбільш ефективними пристроями для вилучення дрібнодисперсних феромагнітних включень (розміром до 1 мм) з сипких матеріалів та їх сумішей є поліградієнтні магнітні сепаратори [1, 2]. Робочий процес в таких пристроях здійснюється шляхом верхньої подачі матеріалу до матриці, заповненої феромагнітними елементами, за рахунок яких відбувається викривлення магнітного поля, що підвищує градієнт його напруженості, а отже і силу вилучення [3].

Ефективність роботи магнітосепаруючих пристроїв є функцією продуктивності (тобто кількості сипкого матеріалу, що проходить в одиницю часу через робочу зону) і надійності вилучення, що залежить від створюваної магнітним полем сепаратора сили впливу на феромагнітні включення. Продуктивність поліградієнтних матричних сепараторів визначається розмірами прохідного перетину – міжполюсного робочого простору матриці в горизонтальній площині (тобто в площині, перпендикулярній вертикальному напрямку проходження через робочу зону матеріалу, що сепарується), та швидкістю переміщення сипкого матеріалу. Підвищення продуктивності за рахунок збільшення розмірів прохідного перетину матриці може призводити до ослаблення магнітних сил та погіршенню здатності сепаратора до вилучення феромагнітних домішок. В свою чергу, підвищення швидкості рівнозначне зменшенню часу перебування сипкого матеріалу в магнітному полі матриці. З

огляду на це, вибір прохідного перетину та довжини матриці не може бути довільним. Тому актуальною задачею є вибір таких співвідношень геометричних параметрів полюсних систем матриць поліградієнтних сепараторів, за яких забезпечуються необхідна продуктивність сепарації при високій надійності вилучення феромагнітних включень.

Аналіз попередніх досліджень. Останнім часом в існуючих публікаціях приділяється достатня увага дослідженню впливу геометричних розмірів та структурних параметрів (форми, взаємного розташування) феромагнітних елементів матриць поліградієнтних сепараторів на розподіл магнітного поля та, відповідно, на силу вилучення магнітних домішок. Так, в роботі [4] представлена удосконалена матриця, стрижні якої виконані з гвинтовою різьбою, що забезпечує більш високий градієнт магнітного поля на виступах різьби. Було визначено оптимальну відстань між рівновіддаленими виступами різьби, а також оптимальний проміжок між сусідніми стрижневими елементами, при яких ефективність очищення буде максимальною. В [5] відзначено, що магнітна матриця є найважливішим конструктивним елементом сепаратора, а метод поліградієнтної магнітної сепарації ефективний для вилучення або фільтрації дрібних і слабомагнітних частинок. Матеріал, геометрія, розміри і розташування елементів матриці можуть значно впливати на градієнт і розподіл магнітного поля. В роботі [5] показано, що створюваний градієнт магнітного поля в просторі матриці обернено пропорційний діаметру елемента матриці. Зі збільшенням діаметра матричного елемента область сильного магнітного поля збільшується, а градієнт магнітного поля зменшується, і навпаки.

У статті [6] розроблено нову конструкцію магнітного сепаратора з феромагнітною мембраною та досліджено розподіл поля в залежності від товщини мембрани. Моделювання магнітного поля і експериментальні результати демонструють кращу ефективність вилучення феромагнітних домішок для мембран, які мають більшу товщину. У [7] представлено комбіновану стрижневу матрицю, що складається зі стрижневих елементів різного діаметру. З використанням методу аналізу матриці зрізів і теоретичного аналізу виявлено, що ця стрижнева матриця забезпечує більш високе вилучення магнітних частинок в порівнянні із матрицями, що заповнені стрижнями однакового діаметру.

У роботі [8] оптимізовано магнітну матрицю з урахуванням характеристик магнітного розподілу і проникності немагнітних компонентів. За допомогою програмного забезпечення COMSOL Multiphysics було змодельовано розподіл поля всередині матриці методом скінченних елементів. В якості оптимальної орієнтації решітки матриці було визначено поперечне ромбоєдричне розташування. Висока ефективність матриці підтверджена експериментальними дослідженнями.

Низка публікацій присвячена експериментальним дослідженням ефективності магнітної сепарації в залежності від швидкості подачі матеріалу і розмірів робочої зони. В [9] представлений високоградієнтний магнітний сепаратор, в якому для забезпечення високоградієнтного магнітного поля і відділення магнітних часток від немагнітного середовища використовуються плоскі і ґратчасті пластини. Для більш ефективного вилучення магнітних часток були оптимізовані експериментальним шляхом дві найбільш важливі експериментальні змінні: швидкість потоку і відстань між магнітами. У статті [10] досліджувалась ефективність сепарації при різних прикладених магнітних полях та різних швидкостях подачі речовини. Авторами було встановлено, що ефективність вилучення збільшується зі зменшенням швидкості потоку подачі. У роботі [11] досліджена ефективність магнітного сепаратора при зміні швидкості потоку. За допомогою обчислювального експерименту встановлено, що збільшення швидкості подачі речовини певною мірою підвищує ефективність поділу, але надмірне збільшення швидкості буде перешкоджати потоку і зменшувати напруженість та градієнт напруженості магнітного поля.

Отже, на сьогодні в переважній більшості публікацій (наприклад, в роботах [4-8]). досліджується вплив конструктивних елементів матриць поліградієнтних сепараторів на розподіл напруженості та градієнту напруженості робочого магнітного поля. У той самий час будь-яке конструктивне рішення задачі інтенсифікації магнітного поля сепаратора вимагає при практичній реалізації вибору певних співвідношень геометричних розмірів полюсної системи матриці, які забезпечують не тільки необхідну чистоту, але й продуктивність сепарації. Як показано в [9–11], в даний час ця задача вирішується переважно експериментальним шляхом під час конструктивних вдосконалень існуючих типів магнітних сепараторів. Аналітичні методи розв’язання зазначеної задачі розроблені недостатньо.

Постановка завдання. Метою роботи є вибір співвідношень основних геометричних розмірів системи полюсів матриці поліградієнтного електромагнітного сепаратора, за яких забезпечується необхідна продуктивність сепарації та висока надійність вилучення феромагнітних домішок з сипкого матеріалу.

Результати дослідження. Як зазначено вище, для очищення сипких матеріалів від випадкових феромагнітних домішок широке застосування знаходять магнітосепаруючі пристрої, одним з поширених типів яких є поліградієнтні магнітні сепаратори матричного типу з верхньою подачею сипкого матеріалу в робочу зону. Схема магнітної сепарації сипких матеріалів з верхньою подачею показана на рис. 1, де магнітну силу впливу на феромагнітні включення позначено як $\vec{F}_p$. Один із варіантів конструктивної інтенсифікації магнітного поля, що широко застосовується на практиці, полягає в установці в робочій зоні (матриці) феромагнітних пластин, як це схематично показано на рис. 2.

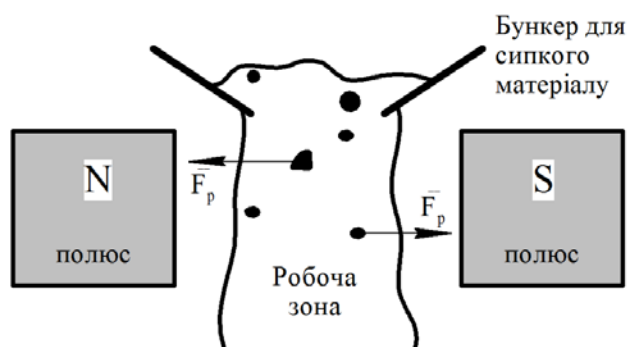


Рис. 1. Схема магнітної сепарації сипких матеріалів з верхньою подачею

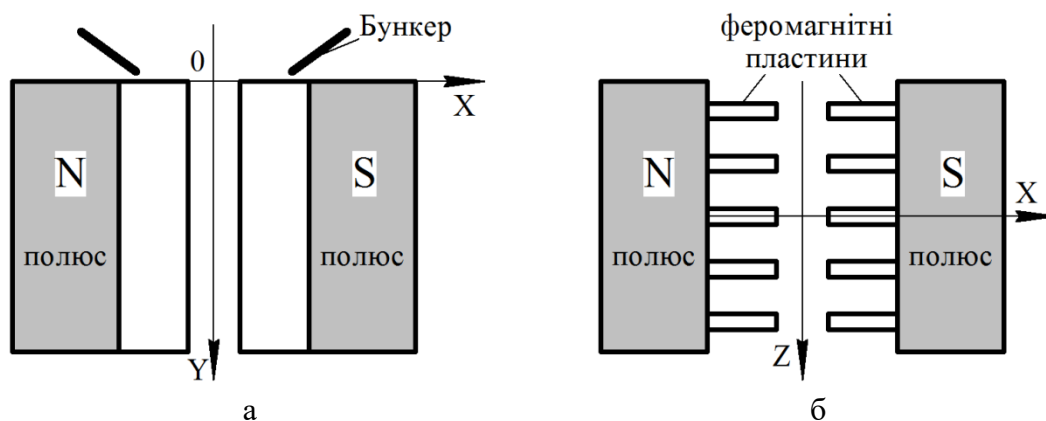


Рис. 2. Робоча зона магнітного сепаратора з полюсною системою:
 а) вид збоку; б) вид зверху

При заданій продуктивності основною вимогою до робочих характеристик магнітних сепараторів є створення умов, що забезпечують певний рівень сил магнітного поля, достатній для переміщення феромагнітних включень до поверхні полюсів за час просипання через робочу зону матеріалу, що сепарується. Для вирішення цієї задачі обмежимося розглядом двох сусідніх пар пластин-полюсів з огляду на їх періодичність, як показано на рис. 3.

При сепарації сипких матеріалів найгірші умови вилучення, очевидно, мають місце для тих феромагнітних тіл, які потрапили в точки O_1 та O_2 (рис. 3). Ці точки найбільш віддалені від поверхонь полюсів, а також є точками нульової сили вилучення магнітного поля в силу геометричної та магнітної симетрії.

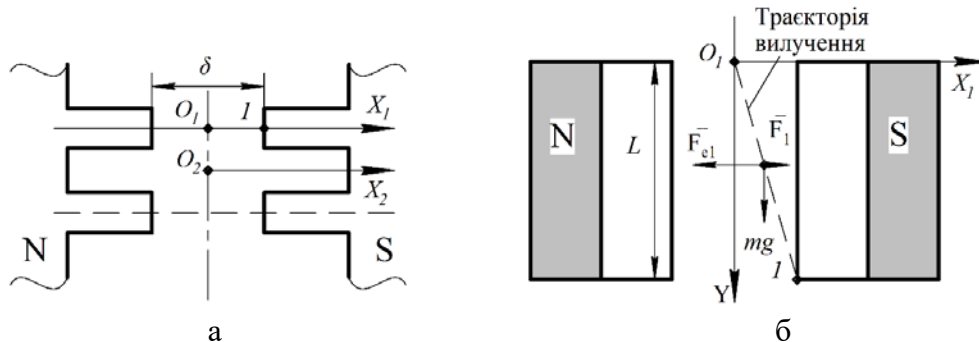


Рис. 3. Схема магнітної сепарації: а) вид зверху, б) вид збоку

Розглянемо феромагнітне тіло, що починає свій рух до полюсів з точки O_1 (рис. 3). Випадковий зсув феромагнітної частки з цієї точки, наприклад, в напрямку осі X_1 (рис. 3, б) призведе до появи силового впливу на неї з боку магнітного поля. По мірі просування частки до полюса магнітна сила буде зростати до деякого максимального значення F_m у поверхні полюса. Для подальших розрахунків приймемо, що в цілому рух феромагнітної частки з точки

O_1 в напрямку осі X_1 буде визначатися деякою середньою силою $F_1 = \frac{1}{2} F_m$, постійною на всьому шляху руху феромагнітної частки в напрямку осі X_1 . При цьому сипке середовище буде чинити опір переміщенню феромагнітної частки до поверхні полюса-пластини. Для опису руху феромагнітного тіла, що вилучається, при наявності опору середовища приймемо, що сила опору F_{cl} пропорційна горизонтальній складовій швидкості V_{x1} відносного руху феромагнітного тіла в сипкому середовищі

$$F_{cl} = \gamma V_{x1}, \quad (1)$$

де γ – коефіцієнт пропорційності, що має фізичний зміст коефіцієнта опору сипкого середовища руху в ньому тіла. Наведений (на одиницю маси) коефіцієнт опору γ/m змінюється в межах $100 \dots 500 \text{ с}^{-1}$ в залежності від форми феромагнітного тіла та матеріалу сипучого середовища [12].

Рух феромагнітного тіла в робочому об'ємі сепаратора під впливом зовнішнього магнітного поля є динамічним процесом і може бути описаний наступною системою рівнянь (в проекціях на координатні осі X_1 та Y , рис. 3)

$$m \frac{dV_{x1}}{dt} + \gamma V_{x1} = \frac{1}{2} F_m, \quad (2)$$

$$m \frac{dV_y}{dt} = mg,$$

де m – маса феромагнітної частки, що вилучається; V_y – вертикальна складова швидкості відносного руху феромагнітної частки; g – прискорення вільного падіння.

Схема сил, що відповідає системі рівнянь (2), наведена на рис. 3, б, на якому також показана якісна траєкторія вилучення, яка описується цією системою рівнянь (траєкторія починається в точці O_1 і закінчується в точці 1 на нижній кромці полюса-пластини). Траєкторія, що показана на рис. 3, б, відповідає самій крайній (нижній) траєкторії, яка відповідає умовам попадання феромагнітного тіла в процесі сепарації на поверхню полюса.

Результатом розв'язання системи рівнянь (2) є параметричне рівняння траєкторії вилучення феромагнітного тіла. При очевидних початкових умовах задачі, що вирішується ($t=0, V_{x1}=0, V_{y1}=0, X_1=0, Y=0$), рівняння траєкторії може бути записано у вигляді

$$X_1(t) = \frac{1}{2\gamma} F_m t + \frac{m}{2\gamma^2} F_m \left(e^{\frac{\gamma}{m} t} - 1 \right), \quad (3)$$

$$Y(t) = \frac{gt^2}{2}.$$

Позбавляючись в (3) від параметра t , нескладно остаточно отримати наступне рівняння траєкторії вилучення для випадку початкового розташування феромагнітного тіла в точці O_1 (рис. 3)

$$X_1 = \frac{F_m}{\gamma} \sqrt{\frac{Y}{2g}} + \frac{m}{2\gamma^2} F_m \left(e^{\frac{\gamma}{m} \sqrt{\frac{2Y}{g}}} - 1 \right), \quad (4)$$

де X_1 та Y – координати траєкторії вилучення

Отримане рівняння траєкторії (4) можна спростити, якщо врахувати чисельні значення відношення γ/m і знехтувати експонентою в круглих дужках в правій частині (4),

$$X_1 = \frac{F_m}{\gamma} \sqrt{\frac{Y}{2g}} - \frac{m}{2\gamma^2} F_m. \quad (5)$$

Практична цінність рівняння (5) полягає в можливості отримання з нього співвідношення розмірів полюсної системи, яке відповідає умові потрапляння феромагнітного тіла з точки O_1 в точку 1 (рис. 3, б). Для реалізації цієї можливості підставимо в (5) координати кінцевої точки граничної траєкторії (тобто точки 1 на рис. 3, б), які дорівнюють $X_1 = 0,5\delta$, $Y=L$, що після нескладних перетворень дає такий вираз

$$0,5\delta = \frac{F_m}{\gamma} \sqrt{\frac{L}{2g}} - \frac{m}{2\gamma^2} F_m. \quad (6)$$

Якщо у виразі (6) виразити магнітну силу вилучення F_m через силу тяжіння mg , ввівши їх відношення $k_1 = F_m/mg$, де k_1 – деякий параметр ($k_1 > 1$), то можна записати вираз, що зв'язує між собою два геометричні розміри розглянутої системи (рис. 3): проміжок δ між полюсами-пластинами та їх вертикальну довжину L

$$\frac{0,5}{k_1} \delta = \frac{m}{\gamma} \sqrt{\frac{gL}{2}} - \frac{1}{2} g \left(\frac{m}{\gamma} \right)^2. \quad (7)$$

Слід зазначити, що отримане співвідношення (7) зв'язує між собою розміри полюсної системи, врахування яких дозволяє забезпечити надійне вилучення феромагнітних включень з сепарованого немагнітного сипкого матеріалу.

При підстановці конкретних чисельних значень для $\gamma/m=100\dots500 \text{ с}^{-1}$ в співвідношення (7) можна побачити, що останнім доданком у правій частині (7) можна знехтувати,

$$\frac{1}{2k_1}\delta\frac{\gamma}{m}=\sqrt{\frac{gL}{2}}. \quad (8)$$

В результаті перетворень виходить квадратична залежність між довжиною L (довжиною зони сепарації) та проміжком δ , який характеризує товщину шару сепарованого матеріалу, через яку необхідно пройти феромагнітному тілу в процесі сепарації,

$$L=\frac{1}{2g}\left(\frac{1}{k_1}\frac{\gamma}{m}\delta\right)^2. \quad (9)$$

Для отриманої між параметрами L та δ квадратичної залежності (9) була здійснена експериментальна перевірка на спрощеній фізичній моделі електромагнітного сепаратора (рис. 4), складеної на основі електромагніту постійного струму з П-подібним магнітопроводом 1 та закріпленими на ньому намагнічувальними котушками 2 зі знімними полюсними наконечниками 3. Для дослідження були виготовлені полюсні наконечники у вигляді наборів пластин різних розмірів. Зміна геометрії магнітної системи спрощеної фізичної моделі здійснювалась шляхом заміни полюсних наконечників та зміною величини повітряного проміжку δ . В якості пробних феромагнітних тіл були використані феромагнітні кулі діаметром 5 мм.

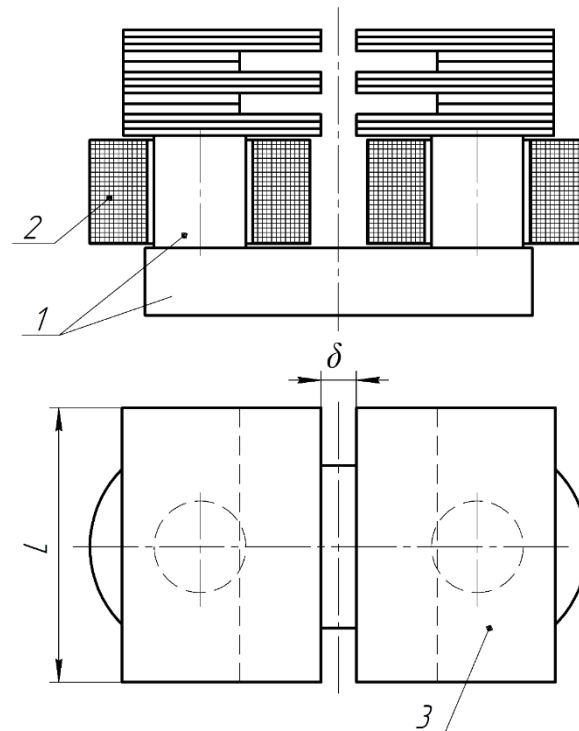


Рис.4. Спрощена фізична модель електромагнітного сепаратора

В результаті експериментальної перевірки, за умови незмінної намагнічувальної сили обмоток, була підтверджена наявність квадратичної залежності між довжиною L пластин-

полюсів та повітряним проміжком δ (рис. 4). Слід зазначити, що квадратична залежність між аналогічними параметрами є відомою для сепараторів інших типів і підтверджується практикою експлуатації та розробки цих сепараторів [12].

Висновки. Отримано аналітичний вираз, що зв'язує між собою основні розміри полюсної системи матриці електромагнітного сепаратора: довжину L зони сепарації та проміжок δ , який характеризує товщину шару сепарованого матеріалу. Врахування співвідношення між цими геометричними параметрами дозволяє при заданій продуктивності забезпечити надійне вилучення феромагнітних включень з немагнітного сипучого матеріалу, що сепарується. На спрощеній фізичній моделі електромагнітного сепаратора здійснена експериментальна перевірка отриманого виразу та підтверджена наявність квадратичної залежності між довжиною L пластин-полюсів та повітряним проміжком δ .

Практичне використання отриманого аналітичного співвідношення вимагає подальшого експериментального уточнення для конкретних типів магнітосепаруючих пристроїв, що є напрямком подальших досліджень.

References

Література

1. Soloshych, I., Shvedchykova, I. (2016). Development of systematics ranked structure of environmental protecting equipment for cleaning of gas emissions wastewater and solid waste. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6/10, 17–23.
1. Soloshych I., Shvedchykova I. Development of systematics ranked structure of environmental protecting equipment for cleaning of gas emissions wastewater and solid waste. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. 6/10. P. 17–23. doi: 10.15587/1729-4061.2016.86462.
2. Jasim, J. M. J., Shvedchykova, I., Panasiuk, I., Romanchenko, J., Melkonova, I. (2021). Increasing the efficiency of multy-variant calculations of electromagnetic field distribution in matrix of a polygradient separator. *EUREKA: Physics and Engineering*, 5, 69–79. DOI: 10.21303/2461-4262.2021.001713.
2. Jasim J. M. J., Shvedchykova I., Panasiuk I., Romanchenko J., Melkonova I. Increasing the efficiency of multy-variant calculations of electromagnetic field distribution in matrix of a polygradient separator. *EUREKA: Physics and Engineering*. 2021. No 5. P. 69–79. DOI: 10.21303/2461-4262.2021.001713.
3. Shvedchykova, I. O., Romanchenko, J. A., Melkonova, I. V. (2019). Udoskonalennia plastynchastoi matrytsi polihradiientnoho elektromahnitnoho separatora [Improvement of laminated matrices of polygradient electromagnetic separator]. *Visnyk KNUTD = Bulletin of the KNUTD*, 4 (136), 9–19 [in Ukrainian].
3. Шведчикова І. О., Романченко Ю. А., Мелконова І. В. Удосконалення пластинчастої матриці поліградієнтного електромагнітного сепаратора. *Вісник КНУТД*. 2019. № 4 (136). С. 9–19.
4. Li, W., Han, Y., Xu, R., Gong, E. (2018). A Preliminary Investigation into Separating Performance and Magnetic Field Characteristic Analysis Based on a Novel Matrix. *Minerals*, 8(3), 1–16.
4. Li W., Han Y., Xu R., Gong E. A preliminary investigation into separating performance and magnetic field characteristic analysis based on a novel matrix. *Minerals*. 2018. No 8(3). P. 1–16.
5. Ge, W., Encinas, A., Araujo, E., Song, S. (2017). Magnetic matrices used in high gradient magnetic separation (HGMS): A review. *Results in Physics*, 7, 4278–4286.
5. Ge W., Encinas A., Araujo E., Song S. Magnetic matrices used in high gradient magnetic separation (HGMS): A review. *Results in Physics*. 2017. No 7. P. 4278–4286. doi: 10.1016/j.rinp.2017.10.055.
6. Podoynitsyn, S., Sorokina, O., Kovarski, A. (2016). High-gradient magnetic separation using ferromagnetic membrane. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 397, 51–56.
6. Podoynitsyn S., Sorokina O., Kovarski A. High-gradient magnetic separation using ferromagnetic membrane. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. 2016. No 397. P. 51–56.
7. Chen, L. Z., Yang, R., Guan, C., Zeng, J., Shao, Y., Huang, L. (2016). Enhanced pulsating hgms of fine
7. Chen L. Z., Yang R., Guan C., Zeng J., Shao Y., Huang L. Enhanced pulsating hgms of fine

hematite with combinative rod matrix. *Sep Sci Technol.*, 51, 564–568.

8. Pasteur, A., Tippkotter, N., Kampeis, P., Ulber, R. (2014). Optimization of high gradient magnetic separation filter units for the purification of fermentation products. *IEEE T Magn.*, 50, 1–7.

9 Kheshti, Z., Hassanajili, Sh., Ghajar, K. A. (2018). Study and Optimization of a High-Gradient Magnetic Separator Using Flat and Lattice Plates. *IEEE Transactions on Magnetics*, 99, 1–8.

10. Pereira, M., Rodrigues, Jr., Pinatti, D. (2002). Determination of experimental conditions for HGMS magnetic separation to reduce the inorganic contents in cellulignin catalytic fuel. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 13(2), 1588–1591.

11. Zheng, X., Li, M., Cui, R., Guo, N. Analysis of Factors Influencing Magnetic Field's Characteristics in HGMS Based on ANSYS. 1–6.

12. Zagirnjak, M. V., Branspiz, Ju. A., Shvedchikova, I. A. (2011). Magnitnye separatory. Problemy proektirovaniia: monogr. [Magnetic separators. Design problems: monograph]. Kyiv: Tekhnika. 224 p. [in Russian].

hematite with combinative rod matrix. *Sep Sci Technol.* 2016. No 51. P. 564–568.

8. Pasteur A., Tippkotter N., Kampeis P., Ulber R. Optimization of high gradient magnetic separation filter units for the purification of fermentation products. *IEEE T Magn.* 2014. No 50. P. 1–7.

9. Kheshti Z., Hassanajili S., Ghajar K. A. Study and Optimization of a High-Gradient Magnetic Separator Using Flat and Lattice Plates. *IEEE Transactions on Magnetics*. 2018. Vol. 55. P. 1–8.

10. Pereira M., Rodrigues Jr., Pinatti D. Determination of experimental conditions for HGMS magnetic separation to reduce the inorganic contents in cellulignin catalytic fuel. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*. 2002. No 13(2). P. 1588–1591.

11. Zheng X., Li M., Cui R., Guo N. Analysis of Factors Influencing Magnetic Field's Characteristics in HGMS Based on ANSYS. P. 1–6.

12. Загирняк М. В. Бранспиз Ю. А., Шведчикова И. А. Магнитные сепараторы. Проблемы проектирования: моногр. Киев: Техника, 2011. 224 с.

SHVEDCHIKOVA IRYNA

Doctor of Technical Sciences, Professor
Department of Computer Engineering
and Electromechanics
Kyiv National University of Technologies
and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-3005-7385>
Scopus ID: [6503887672](https://orcid.org/0000-0003-3005-7385)
Researcher ID: [O-2765-2018](https://orcid.org/0000-0003-3005-7385)
E-mail: shvedchikova.io@knutd.edu.ua

ROMANCHENKO JULIA

PhD, Assistant Professor,
Department of Electrical Engineering,
Volodymyr Dahl East Ukrainian National
University, Severodonetsk, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-6579-6474>
Scopus ID: [57190438710](https://orcid.org/0000-0001-6579-6474)
E-mail: romanchenko_ja@snu.edu.ua

MELKONOVA INNA

PhD, Assistant Professor,
Department of Electrical Engineering,
Volodymyr Dahl East Ukrainian National
University, Severodonetsk, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-6173-1470>
Scopus ID: [57214990909](https://orcid.org/0000-0001-6173-1470)
E-mail: melkonova@snu.edu.ua

¹ШВЕДЧИКОВА И. А., ²РОМАНЧЕНКО Ю. А., ²МЕЛКОНОВА И. В.

¹ Київський національний університет технологій і дизайну

² Восточноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, Северодонецьк, Україна

**ОЦЕНИВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОЛЮСНОЙ СИСТЕМЫ
МАТРИЦЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО СЕПАРАТОРА**

Цель. Выбор соотношений геометрических размеров системы полюсов матрицы электромагнитного полиградиентного сепаратора для повышения производительности при сохранении надежности извлечения ферромагнитных примесей из сыпучего материала.

Методика. Для решения динамической задачи движения ферромагнитного тела в рабочем промежутке полюсной системы матрицы полиградиентного сепаратора под влиянием внешнего магнитного поля использованы известные методы решения линейных неоднородных дифференциальных уравнений. Для подтверждения достоверности полученных результатов задействован метод экспериментальных исследований.

Результаты. Осуществлена постановка динамической задачи движения ферромагнитного тела в рабочем промежутке пластинчатой полюсной системы матрицы полиградиентного сепаратора. Получено параметрическое уравнение траектории извлечения ферромагнитного тела и расчетное соотношение, связывающее между собой основные геометрические размеры системы полюсов матрицы. Результаты расчетов подтверждены экспериментальным путем и практикой эксплуатации известных магнитосепарирующих устройств.

Научная новизна. Получило дальнейшее развитие математическое описание рабочего процесса полиградиентного электромагнитного сепаратора с пластинчатой матрицей, что позволило получить аналитическое выражение, учитывающее основные геометрические размеры рабочего пространства матрицы сепаратора.

Практическая значимость. Учет полученной аналитической зависимости между длиной зоны сепарации и воздушным промежутком, характеризующим толщину слоя сепарированного материала, через которую должно пройти ферромагнитное тело в процессе сепарации, позволит обеспечить необходимую чистоту и продуктивность сепарации.

Ключевые слова: электромагнитный сепаратор; матрица с ферромагнитными элементами; продуктивность; эффективность извлечения ферромагнитных включений.

¹SHVEDCHUKOVA I. O., ²ROMANCHENKO J. A., ²MELKONOVA I. V.

¹Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

²Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Severodonetsk, Ukraine

ESTIMATION OF GEOMETRIC PARAMETERS OF THE POLE SYSTEM OF MATRIX OF ELECTROMAGNETIC SEPARATOR

Purpose. The choice of the geometric dimensions ratios of system of matrix poles of electromagnetic polygradient separator to increase productivity with maintaining the reliability of extracting of ferromagnetic impurities from bulk material.

Methodology. To solve the dynamic problem of motion of a ferromagnetic body in the working gap of pole system of matrix of polygradient separator under the influence of an external magnetic field the known methods of solving linear inhomogeneous differential equations are used. To confirm the reliability of obtained results the method of experimental research is used.

Findings. The formulation of dynamic problem of movement of ferromagnetic body in the working gap of plate pole system of matrix of polygradient separator is carried out. Parametric equation for the trajectory of ferromagnetic body removal and a calculated relation connecting the main geometric dimensions of the system of matrix poles are obtained. The calculation results are confirmed experimentally and by operating practice of known magnetic separating devices.

Originality. The mathematical description of working process of a polygradient electromagnetic separator with a plate matrix was further developed, which made it possible to obtain an analytical expression that takes into account the main geometric dimensions of the working space of matrix of separator.

Practical value. Accounting of obtained analytical dependences between the length of separation zone and air gap, which characterizes the thickness of the separated material layer through which the ferromagnetic body must pass during the separation process, will ensure the necessary purity and productivity of separation.

Keywords: electromagnetic separator; matrix with ferromagnetic elements; productivity; removal efficiency of ferromagnetic impurities.