

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА
ДИЗАЙНУ

Навчально-науковий інститут інженерії та інформаційних технологій

Кафедра комп'ютерної інженерії та електромеханіки

ДИПЛОМНА БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

на тему

МАГНІТНИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ ОБРОБКИ СУМІШЕЙ СИПКИХ РЕЧОВИН

Виконав: студент групи БЕМ-19
спеціальності

141 Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка

Тихонін Семен Костянтинович

Науковий керівник

д.т.н., проф. Шведчикова І.О. _____

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Рецензент _____

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Київ 2023

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУІнститут Навчально-науковий інститут інженерії та інформаційних технологійКафедра комп'ютерної інженерії та електромеханікиСпеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханікаОсвітня програма Електромеханіка**ЗАТВЕРДЖУЮ****Завідувач кафедри комп'ютерної інженерії та електромеханіки**

_____ Борис ЗЛОТЕНКО

«_____» _____ 2023 року

ЗАВДАННЯ**НА ДИПЛОМНУ БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ (ПРОЄКТ) СТУДЕНТУ**Тихоніну Семену Костянтиновичу

(прізвище, ім'я, по батькові студента)

1. Тема дипломної бакалаврської роботи (проєкту) Магнітний пристрій для обробки сумішей сипких речовин

Науковий керівник роботи Шведчикова Ірина Олексіївна, д.т.н., проф.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом КНУТД від «08» листопада 2022 року № 224-уч

2. Строк подання студентом дипломної роботи (проєкту) 05.06.2023 р.

3. Вихідні дані до дипломної бакалаврської роботи (проєкту) навчальна та методична література; патенти.

4. Зміст дипломної бакалаврської роботи (проєкту) (перелік питань, які потрібно розробити) аналітичний огляд інформаційних джерел, технічні рішення магнітних пристроїв для обробки сумішей сипких речовин, обґрунтування кута встановлення підвісних електромагнітів

5. Дата видачі завдання 01.03.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної бакалаврської роботи (проєкту)	Терміни виконання етапів	Примітка про виконання
1	Вступ	10.03.2023	<i>З підписами наукового керівника і студента</i>
2	Розділ 1. Провести аналітичний огляд інформаційних джерел	20.03.2023	<i>З підписами наукового керівника і студента</i>
3	Розділ 2. Розробити технічні рішення магнітних пристроїв для обробки сумішей сипких речовин	25.04.2023	<i>З підписами наукового керівника і студента</i>
4	Розділ 3. Обґрунтувати кут встановлення полюсів підвісних електромагнітів	03.05.2023	<i>З підписами наукового керівника і студента</i>
5	Висновки	16.05.2023	<i>З підписами наукового керівника і студента</i>
6	Оформлення кваліфікаційної роботи (чистовий варіант)	19.05.2023	<i>З підписами керівника і студента</i>
7	Здача кваліфікаційної роботи на кафедрі для рецензування (за 14 днів до захисту)	14.06.2023	<i>З підписами студента та рецензента</i>
8	Перевірка кваліфікаційної роботи на наявність текстових співпадінь та помилок (за 10 днів до захисту)	04.06.2023	<i>З підписами наукового керівника, студента та працівника відділу моніторингу якості підготовки фахівців та аналітичної роботи</i>
9	Подання кваліфікаційної роботи на затвердження завідувачу кафедри (за 7 днів до захисту)	07.06.2023	<i>З підписами завідувача кафедри, керівника, студента</i>

Студент

_____ (підпис)

_____ (ініціали та прізвище)

Науковий керівник
роботи

_____ (підпис)

_____ (ініціали та прізвище)

Рецензент

_____ (підпис)

_____ (ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Дипломна бакалаврська робота за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, освітньою програмою «Електромеханіка». – Київський національний університет технологій та дизайну, Київ, 2023 рік.

Бакалаврська робота складається зі вступу, 3 розділів, висновків, списку використаних джерел (23 найменування). Робота виконана в обсязі 41 сторінки друкованого тексту, містить 21 рисунок.

Мета роботи: обґрунтування технічних рішень магнітних пристроїв для виокремлення феромагнітних металів із загального потоку сумішей сипких речовин. **Об'єкт дослідження:** процеси вилучення та розвантаження феромагнітних предметів з сипких речовин магнітосепаруючими пристроями. **Предмет дослідження:** нові технічні рішення; експериментальна оцінка ефективності вилучення феромагнітних предметів.

В першому розділі проведений аналіз інформаційних джерел, розглянуто основні типи магнітних сепараторів, наведено їх класифікацію. В результаті проведених досліджень встановлено, що найбільш доцільним для очищення сипких матеріалів, які транспортуються стрічковими конвеєрами з шириною стрічки 1000 мм та вище, слід вважати використання багатостадійної сепарації. Це потребує розроблення нових технічних рішень магнітосепаруючих комплексів, що містять декілька окремих пристроїв.

В другому розділі запропоновано нові технічні рішення магнітосепаруючих комплексів та здійснена експериментальна оцінка ефективності вилучення ними феромагнітних предметів з подрібнених сипких матеріалів.

У третьому розділі наведені результати експериментальних досліджень для визначення кута встановлення магнітних систем для підвищення ефективності роботи запропонованих пристроїв.

Ключові слова: сипкі матеріали, магнітна сепарація, феромагнітні включення, стрічковий конвеєр, експеримент, ефективність вилучення.

ANNOTATION

Bachelor thesis in speciality 141 Electrical Power Engineering, Electrical Engineering, and Electromechanics, educational program “Electromechanics”. – Kyiv National University of Technology and Design, Kyiv, 2023.

The bachelor thesis consists of an introduction, 3 chapters, conclusions, a list of sources used (23 titles). The work is performed in the amount of 41 pages of printed text, containing 21 figures.

Objective: substantiation of technical solutions of magnetic devices for separating ferromagnetic metals from the general flow of mixtures of granular materials. **The object of research:** processes of extraction and unloading of ferromagnetic objects from granular materials by magnetic separation devices. **Research subject:** new technical solutions; experimental assessment of the efficiency of extraction of ferromagnetic objects.

In the first section, the analysis of information sources is carried out, the main types of magnetic separators are considered, and their classification is given. As a result of the conducted research, it was established that the use of multi-stage separation should be considered the most appropriate for cleaning loose materials transported by belt conveyors with a belt width of 1000 mm and above. This requires the development of new technical solutions for magnetic separation complexes containing several separate devices.

In the second section, new technical solutions of magnetic separation complexes are proposed and an experimental evaluation of the effectiveness of their extraction of ferromagnetic objects from crushed loose materials is carried out.

The third section presents the results of experimental studies to determine the angle of installation of magnetic systems to increase the efficiency of the proposed devices.

Keywords: bulk materials, electrical apparatus, magnetic separation, ferromagnetic inclusions, belt conveyor, experiment, extraction efficiency.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ.....	10
1.1 Призначення та принцип дії магнітних сепараторів	10
1.2 Області застосування магнітних сепараторів.....	13
1.3 Основні типи магнітних сепараторів	14
РОЗДІЛ 2 ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ МАГНІТНИХ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ОБРОБКИ СУМІШЕЙ СИПКИХ РЕЧОВИН.....	19
2.1 Магнітосепаруючий комплекс на основі підвісних вилучаючого та розвантажувального електромагнітів	19
2.2 Магнітосепаруючий комплекс на основі підвісного та шківного електромагнітів.....	23
2.3 Магнітосепаруючий комплекс на основі двох підвісних електромагнітів з конусоподібною формою робочої поверхні.....	28
2.4 Магнітосепаруючий комплекс на основі двох підвісних електромагнітів з дископодібною формою робочої поверхні.....	30
РОЗДІЛ 3 ОБҐРУНТУВАННЯ КУТА ВСТАНОВЛЕННЯ ПОЛЮСІВ ПІДВІСНИХ ЕЛЕКТРОМАГНІТІВ.....	33
ВИСНОВКИ.....	38
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	39

ВСТУП

Актуальність теми. Поділ сумішей сипких матеріалів, виділення твердої фракції з рідкого або газоподібного середовища є важливими етапами різних технологічних процесів переробки вихідної сировини, проміжних або кінцевих продуктів. В даний час для цих цілей застосовуються технічні пристрої – сепаратори, принцип дії яких заснований на використанні фізичних полів різної природи та деяких фізичних властивостей матеріалів: густини, електропровідності, діелектричної проникності, намагніченості, змочуваності та адсорбції, відбивної здатності тощо. На практиці найбільшого поширення набули магнітні сепаратори. Для цих пристроїв характерним є збудження магнітного поля в деякій робочій зоні (зоні сепарації), механічні процеси поділу магнітної та немагнітної складових вихідного продукту з подальшим корисним використанням однієї або обох складових.

Очищення сумішей сипких речовин знайшло застосування в різних галузях промисловості, зокрема при сепарації полімерних сумішей в легкій промисловості та для очищення твердих побутових відходів. Щороку в Україні утворюється понад 13 млн тон твердих побутових відходів (ТПВ). Більше 95% цих відходів спрямовується на полігони та звалища. У структурі ТПВ істотна частка належить відходам металів: чорних (залізо, сталь) і кольорових (алюміній, мідь, свинець, нікель та інші метали). Основними джерелами чорного металобрухту є старі автомобілі, кораблі, рейки; кольорові метали, представлені алюмінієвими бляшанками, фольгою тощо. Перевагою повторного використання металів є те, що і під час переробки вони не втрачають своїх властивостей.

Угода про асоціацію (УА) між Україною та Європейським Союзом визначає обов'язкові правові норми, яких повинна дотримуватися держава. Ст. 361 Глави 6 («Навколишнє природне середовище») Розділу V («Економічне та галузеве співробітництво») передбачає збереження, захист, поліпшення і відтворення якості навколишнього середовища, включаючи, у тому числі, управління відходами та ресурсами. Зобов'язання України щодо наближення

свого законодавства до законодавства та політики ЄС з питань навколишнього середовища мають виконуватися відповідно до Додатку ХХХ до Глави 6 «Навколишнє природне середовище» УА. За різними даними, рівень переробки ТПВ в Україні коливається від 3 до 8%, тоді як для країн Європейського Союзу він складає до 60% ТПВ [1].

Таким чином, видалення чорних металів із загального потоку сумішей сипких речовин за допомогою магнітних пристроїв, їх подальша переробка та утилізація є *актуальною* технічною та екологічною проблемою.

Метою роботи є обґрунтування технічних рішень магнітних пристроїв для виокремлення феромагнітних металів із загального потоку сумішей сипких речовин.

Для досягнення поставленої мети в бакалаврській роботі вирішуються такі **завдання**:

- здійснити аналіз магнітних пристроїв для використання в системах переробки сумішей сипких речовин;

- запропонувати технічні рішення щодо створення магнітносепаруючих пристроїв (комплексів) для магнітного поділу сипких речовин, що транспортуються широкими стрічковими конвеєрами;

- узагальнити результати експериментальних досліджень ефективності вилучення феромагнітних предметів з сумішей сипких речовин магнітносепаруючими пристроями (комплексами);

- обґрунтувати кут установки електромагнітних систем з плоскою формою робочої поверхні для магнітного поділу матеріалів, що транспортуються широкими стрічковими конвеєрами.

Об'єкт дослідження: процеси вилучення та розвантаження феромагнітних предметів з сипких речовин магнітносепаруючими пристроями (комплексами).

Предмет дослідження: нові технічні рішення; експериментальна оцінка ефективності вилучення феромагнітних предметів.

Методи досліджень. Дескриптивний метод для опису запропонованих технічних рішень, метод експериментальних досліджень на фізичних моделях.

Інформаційною базою дослідження є патентна інформація, публікації у журналах, результати експериментальних досліджень.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у розробленні нових технічних рішень магнітосепаруючих пристроїв.

Практичне значення одержаних результатів. Практичне використання запропонованих технічних рішень дозволить підвищити ефективність вилучення феромагнітних предметів з сумішей сипких речовин.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ

1.1 Призначення та принцип дії магнітних сепараторів

Магнітна сепарація є найпростішим і надійним видом сепарації. Робочий процес магнітної сепарації не пов'язаний з будь-якими хімічними перетвореннями, які протікають, наприклад, при флотації, тому робочі сепаратори не завдають шкоди навколишньому середовищу. У магнітних сепараторах фізичні поля різної природи іноді комбінуються для поліпшення якості робочого процесу. Таке накладення полів застосовується, наприклад, при сухій електродинамічній і мокрій магнітогідродинамічній сепарації [2].

Магнітна сепарація – це метод технологічного впливу магнітного поля на суміш матеріалів з метою зміни їх якісних властивостей шляхом відділення компонентів, що намагнічуються, від суміші (за рахунок пондеромоторного впливу магнітного поля на ці компоненти). При цьому можливі дві схеми включення магнітних сепараторів в технологічний ланцюжок обробки матеріалу:

- використання в якості допоміжного (приєданого) обладнання до існуючого технологічного ланцюжка обладнання;
- використання в якості самостійного технологічного обладнання (наприклад, для транспортування магнітного виробу).

У першому випадку магнітні сепаратори можна розглядати як електричні апарати, оскільки в цьому випадку реалізується явище пондеромоторного впливу на компоненти сумішей, що намагнічуються, яке здійснюється тільки в тому випадку, якщо вони присутні в оброблюваному матеріалі.

У другому випадку магнітні сепаратори також можна розглядати як технологічні машини. У таких сепараторах реалізується безперервний механічний рух магнітної і немагнітної складових, що змінює властивості матеріалу, що подається на вхід такої машини.

В цілому магнітні сепаратори, будучи важливою складовою технологічного обладнання різних виробництв, у тому числі підприємств легкої промисловості, можна розглядати як специфічний вид магнітно-

технічних пристроїв, що комутують механічне навантаження шляхом перетворення енергії магнітного поля в енергію механічного руху магнітних частинок [3].

Розвиток магнітних сепараторів відбувався під впливом науково-технічних досягнень в області електромагнетизму, матеріалознавства, надпровідності і супроводжувалася безперервним зростанням максимальної продуктивності, напруженості магнітного поля (індукції) в робочих зазорах і вилучаючих сил [4-6]. Якщо на перших пробах барабанних електромагнітних сепараторів, наприклад, сепараторів Ball і Norton, напруженість магнітного поля в повітряному проміжку не перевищувала 80 кА/м (0,1 Тл), то для барабанних сепараторів з надпровідними обмотками вона становить вже близько 2600 кА / м (3,2 Тл). Максимальна продуктивність сучасних високоградієнтних сепараторів становить сотні тон на годину.

Залежно від умов застосування вимоги до магнітних сепараторів істотно відрізняються. Показники, що характеризують ефективність процесу сепарації, також будуть різними [2, 3]. На частинки матеріалів, розділених при магнітній сепарації, впливають магнітні і конкуруючі сили або сили опору (сила тяжіння і тертя, сили інерції), які, як правило, протидіють руху витягнутих намагнічених частинок. Рух тіла по заданій траєкторії до його повного вилучення відбувається під дією магнітної або вилучаючої сили \bar{F}_M .

Одним з основних параметрів магнітного сепаратора, що визначає ефективність його роботи, є величина питомої приведеної (на одиницю об'єму частки) пондеромоторної сили $\bar{f}_{np} = \bar{H}_0 \text{grad} \bar{H}_0$ магнітного поля, яка забезпечує гарантоване вилучення магнітних часток прийнятою конструкцією магнітного сепаратора (\bar{H}_0 – напруженість магнітного поля в робочому міжполюсному просторі сепаратора).

Якщо бажаним продуктом сепарації є очищений матеріал, в якому до сепарації присутні випадкові магнітні частинки, то ефективність роботи магнітного сепаратора можна охарактеризувати показником якості процесу сепарації, який ще називають показником вилучення. Показник вилучення η_M

– це відношення кількості вилучених магнітних частинок, що утворюють магнітну фракцію, до загальної кількості магнітних включень в живленні сепаратора [4, 7-9]

$$\eta_M = \frac{Q_{вх} - Q_{вих}}{Q_{вх}}, \quad (1.1)$$

де $Q_{вх}$, $Q_{вих}$ – кількість магнітних включень в матеріалі, що сепарується, відповідно, на вході та на виході магнітної системи сепаратора.

Показник вилучення характеризує ймовірність того, що магнітні частинки будуть вилучені. Очевидно, що ця ймовірність тим вище, чим вище магнітні сили \bar{F}_M і нижче сили \bar{F}_C опору, що діють на частинки, зо вилучаються, тому вираз для η_M може бути записаний у вигляді

$$\eta_M = k \frac{F_M}{F_C}, \quad (1.2)$$

де k – коефіцієнт пропорційності.

У теоретичних розрахунках ефективності магнітних сепараторів поряд з показником η_M часто використовують індикатор η_{M1} , який має вигляд

$$\eta_{M1} = \frac{Q_{вих}}{Q_{вх}} = 1 - \eta_M. \quad (1.3)$$

Показник η_{M1} характеризує ту частину магнітних включень, яка залишилася невилученою, і називається ступенем пропуску або невилучення сепаратора. Чим менше η_{M1} , тим ефективніший сепаратор.

Припускаючи, що вилучення магнітних частинок з матеріалу є процесом масообміну і відповідає закону діючих мас, то можна записати Наступний вираз для ступеня пропуску η_{M1} [9]

$$\eta_{M1} = e^{-\frac{t}{t_{уз}}}, \quad (1.4)$$

де t – час перебування частинки в робочому об'ємі електромагнітної системи сепаратора; $t_{уз}$ – час, необхідний частці, щоб досягти поверхні полюса.

1.2 Области застосування магнітних сепараторів

Магнітні сепаратори широко застосовуються в якості:

- обладнання для збагачення руд магнітних і слабомагнітних металів (коли виділяється магнітна складова є корисним продуктом);
- обладнання для очищення немагнітних матеріалів від небажаних феромагнітних домішок (коли очищений немагнітний матеріал є корисним продуктом, а магнітні сепаратори, як правило, додаються до наявного обладнання);
- обладнання для вилучення феромагнітних об'єктів з метою їх подальшої обробки, транспортування та використання (коли магнітні сепаратори використовуються як самостійне технологічне обладнання).

Головними перевагами пристроїв є: підвищення якості вторинної сировини та кінцевої продукції; додаткове збагачення нерудних та рудних матеріалів; запобігання поломкам різних машин, що беруть участь у переробці (дробарок, екструдерів, пресів) через попадання металевих домішок.

Вилучення небажаних магнітних домішок із сумішей сипких речовин сприяє підвищенню якості сировини. В легкій промисловості дуже часто використовуються суміші полімерних матеріалів у вигляді гранул сферичної форми діаметром до 10 мм. У харчовій промисловості, окрім підвищення якості сировини, застосування магнітної сепарації запобігає потраплянню випадкових магнітних домішок у готову продукцію та попереджає загрози здоров'ю людини та тварин при попаданні дрібних феромагнітних домішок в організм.

Розрізняють три різновиди магнітної сепарації [4, 10-11]:

- магнітна сепарація, при якій відбувається відхилення потоків магнітних та немагнітних частинок;
- магнітна сепарація, при якій відбувається вилучення магнітних частинок за рахунок пондеромоторної сили магнітного поля, що призводить до видалення магнітних частинок з потоку матеріалу з подальшим додатковим видаленням видобутого матеріалу з робочої зони сепаратора;
- магнітна сепарація, при якій відбувається утримання магнітних частинок у робочій зоні сепаратора силами магнітного поля, а немагнітні частинки при

цьому вільно проходять через магнітну зону.

Крім того, до схем сепарації може бути віднесена реалізація магнітної сепарації в декілька стадій. При цьому можливі три підходи:

- використання одного і того ж сепаратора кілька разів для сепарації одного і того ж матеріалу;
- використання декількох магнітних сепараторів, що здійснюють магнітну сепарацію матеріалу, що очищається, послідовно (рис. 1.1);
- використання спеціальних сепараторів для багатостадійної (зазвичай двостадійної) сепарації (рис. 1.2).

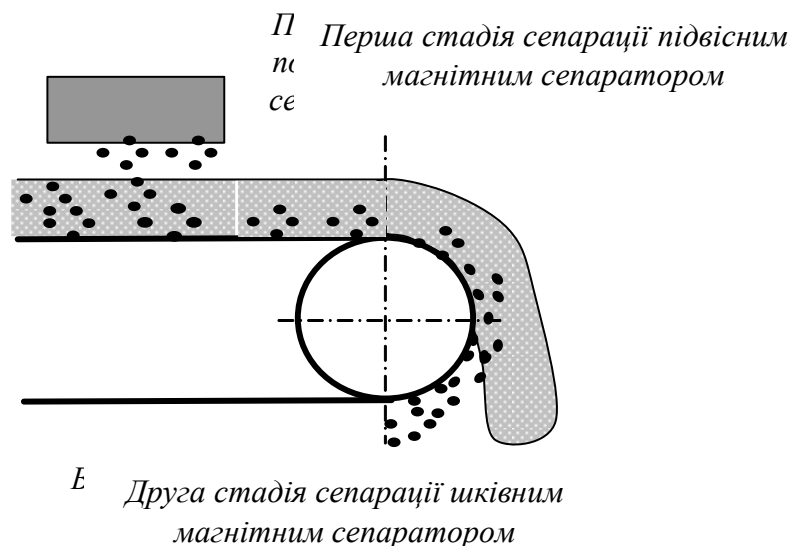


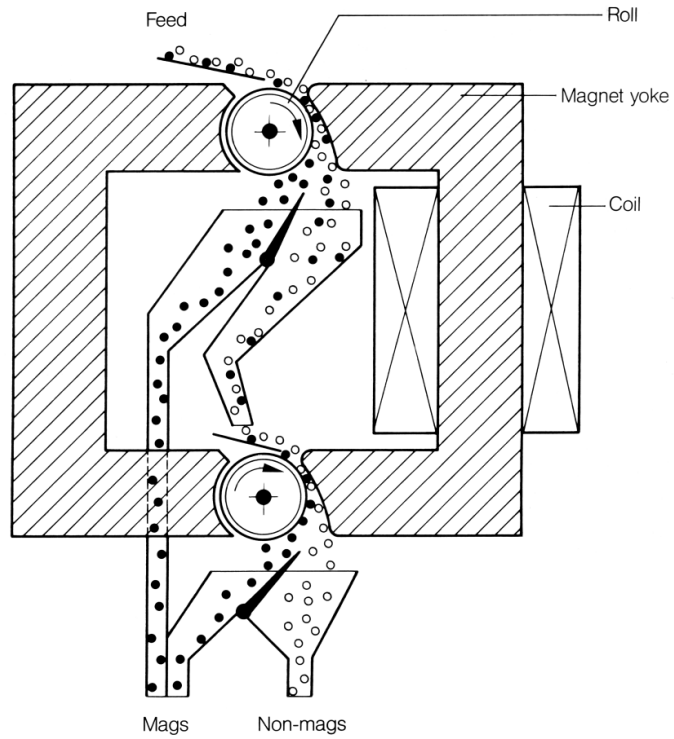
Рис. 1.1. Схема двостадійної сепарації двома магнітними сепараторами

1.3 Основні типи магнітних сепараторів

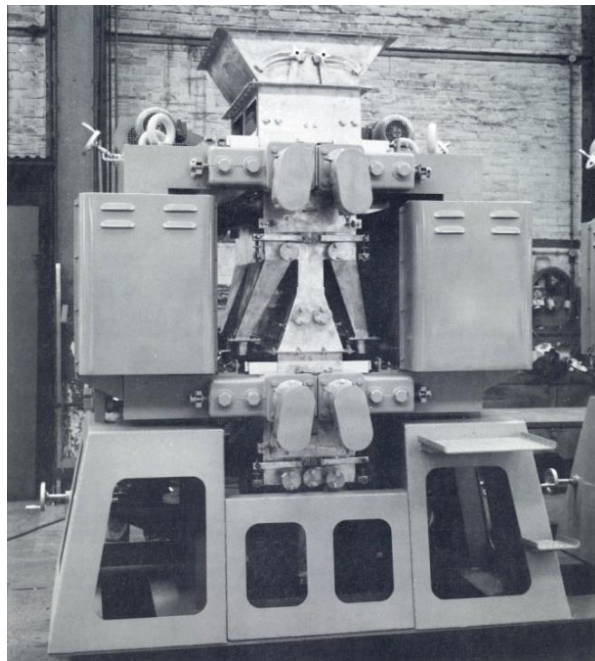
Детальні класифікації магнітних сепараторів наведені в [7]. Магнітні сепаратори поділяються:

1. За способом подачі матеріалу в робочу зону:

- а) апарати, в яких матеріал подається безпосередньо на транспортуючий пристрій, що видаляє магнітний продукт із робочої зони, а прискорення сили тяжіння або її складова збігається у напрямку магнітної сили тяжіння (сепаратори з верхньою подачею);



а)



б)

Рис. 1.2. Спеціальний сепаратор для двостадійної сепарації:
а) схема сепарації; б) індукційно-роликівий сепаратор

б) апарати, у яких магнітна сила тяжіння перпендикулярна силі тяжіння (сепаратори з вертикальною (бічною) подачею);

в) апарати, в яких матеріал подається під пристрій, що видаляє магнітний продукт, а прискорення сили тяжкості або її складова спрямовані проти сили магнітного тяжіння (сепаратори з нижньою подачею).

2. За напрямком руху матеріалу, що підлягає сепарації, та способом видалення продуктів поділу з робочої зони:

а) апарати, в яких матеріал, що сепарується, і немагнітні частинки рухаються в одному напрямку, а магнітні частинки відхиляються від цього напрямку (прямоточні сепаратори);

б) апарати, у яких матеріал та немагнітні частинки рухаються в одному, а магнітний продукт – у протилежному напрямку (протivotочні сепаратори);

в) апарати, в яких пульпа подається знизу під тиском, а магнітні та немагнітні частинки рухаються у протилежних напрямках.

3. За характером поведінки магнітних предметів у магнітному полі: а) апарати з магнітним перемішуванням; б) апарати без магнітного перемішування.

4. За конструкцією пристрою для видалення магнітного продукту розрізняють, наприклад, підвісні, барабанні, шківні, валкові тощо [8-15].

Вилучення феромагнітних предметів з сипучих речовин, що транспортуються стрічковими конвеєрами, здійснюється в процесі їх транспортування з використанням, як правило, електромагнітних шківів та підвісних сепараторів. Ці пристрої відносяться до сепараторів з низькою інтенсивністю магнітного поля. Середнє значення напруженості магнітного поля на робочій поверхні магнітного сепаратора складає близько 80-120 кА/м (0,1-0,15 Тл) [6].

Електромагнітні шківні, наприклад, ЕШ-65-63 (рис. 1.3), встановлюються на стрічкових конвеєрах у двох варіантах: електромагнітний шків є одночасно приводним на стрічковому конвеєрі; електромагнітний шків розташовується над стрічкою конвеєра (підвісний варіант). В обох варіантах установки електромагнітний шків витягує предмети масою 50 г і вище та відрізняється

низькою ефективністю внаслідок малою робочою зоною магнітного поля, яка визначається діаметром шківів [4, 8]. В підвісному варіанті установки шківів значно зменшується глибина вилучення.

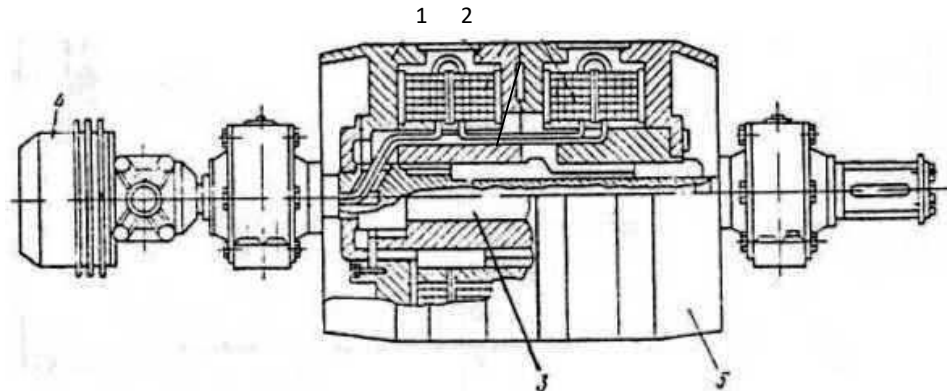


Рис. 1.3. Електромагнітний шків:

1 – диски-полюси; 2 - котушка; 3 -вал; 4 – струморозподільча коробка
5 - корпус шківів

Високу надійність і ефективність вилучення мають підвісні електромагнітні сепаратори типу П (рис. 1.4) [4, 9]. Завдяки похилому розташуванню полюсів вони дозволяють витягувати феромагнітні тіла з великого шару матеріалу, що сепарується, масою 20г і вище, але дані пристрої не мають автоматичного розвантаження витягнутих феромагнітних тіл, що призводить до серйозних труднощів в експлуатації.



Рис. 1.4. Підвісний магнітний сепаратор без саморозвантажування

Підвісний саморозвантажувальний електромагнітний сепаратор, наприклад, типу ПС (рис.1.5), забезпечений гнучкою розвантажувальною

стрічкою, призначеною для забезпечення автоматичного розвантаження витягнутих феромагнітних тіл. Але суттєвим недоліком електромагнітних сепараторів типу ПС є великі габарити та маса (декілька тон) при відносно невеликій глибині вилучення.

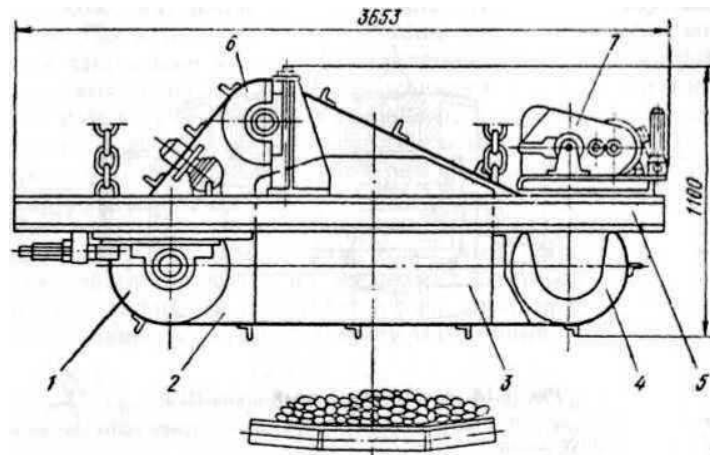


Рис. 1.5. Саморозвантажувальний підвісний магнітний сепаратор

Таким чином, аналітичний огляд схем та пристроїв для магнітної сепарації показав, що для очищення сумішей сипких речовин, зокрема сировини для легкої або харчової промисловості, твердих побутових відходів знайшли застосування електромагнітні шківни та підвісні магнітні сепаратори.

В свою чергу, в системах для очищення від феромагнітних предметів широко використовують стрічкові конвеєри з шириною стрічки 1000 мм та вище, товщина шару матеріалу на яких може становити 250 мм та більше [16, 17]. Існуючі конструкції магнітосепаруючих пристроїв через їхні недоліки, зазначені вище, не можуть бути рекомендовані для застосування в таких системах. Найбільш доцільним для систем переробки сумішей сипучих матеріалів, що містять стрічкові конвеєри з шириною стрічки 1000 мм та вище, слід вважати використання багатостадійної сепарації. Це потребує розроблення нових технічних рішень магнітосепаруючих комплексів, що містять декілька окремих пристроїв.

РОЗДІЛ 2 ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ МАГНІТНИХ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ОБРОБКИ СУМІШЕЙ СИПКИХ РЕЧОВИН

Як показав аналіз літературних джерел, для підвищення надійності вилучення феромагнітних предметів із сумішей сипких речовин, які транспортуються стрічковими конвеєрами достатньо великої ширини (1000 мм та вище), доцільним є використання магнітосепаруючих комплексів, побудованих на основі двох магнітних сепараторів, які виконують різні функції – вилучення та розвантаження. В даному розділі наведено декілька технічних рішень магнітосепаруючих комплексів.

2.1 Магнітосепаруючий комплекс на основі підвісних вилучаючого та розвантажувального електромагнітів

Для очищення від феромагнітних предметів сипких матеріалів, які транспортуються стрічковими конвеєрами з шириною стрічки 1000 м та вище, пропонуються пристрої, в яких функції вилучення та розвантаження феромагнітних предметів виконують різні електромагнітні системи (магнітосепаруючий комплекс): електромагніт, що вилучає, без автоматичного розвантаження; електромагніт, що розвантажує, з автоматичним розвантаженням [9, 18].

Основою магнітосепаруючого комплексу є вилучаючий та розвантажувальний електромагніт (рис.2.1), які складаються з відкритих П-подібного та С-подібного магнітопроводів 1, намагнічувальних катушок 2 та полюсних наконечників 3, відповідно (рис.2.2-2.3). Полюсні наконечники 3 електромагніту для вилучення (рис.2.2) розташовують вздовж стрічки транспортера, причому їх робочі грані виконані профільованими і приблизно повторюють форму матеріалу 4 на транспортерній стрічці. Полюсні наконечники 3 розвантажувального електромагніту (рис.2.3) виконані з плоскими робочими гранями, а сам електромагніт забезпечений

розвантажувальним пристроєм, що складається з розвантажувальної стрічки 5, привода 6, приводного барабана 7, натяжного барабана 8, жорсткої немагнітної прокладки 9 і рами 10. Робочий процес протікає в такий спосіб. Електромагніти комплексу працюють у повторно-короткочасному режимі, по черзі включаючись до мережі живлення і відключаючись від неї.

Матеріал, що переміщується транспортерною стрічкою, спочатку потрапляє в зону дії включеного до мережі живлення П-подібного електромагніту (рис.2.1), в результаті чого феромагнітні предмети, що містяться в матеріалі, що сепарується, витягуються і прилипають до полюсних наконечників цього електромагніту.

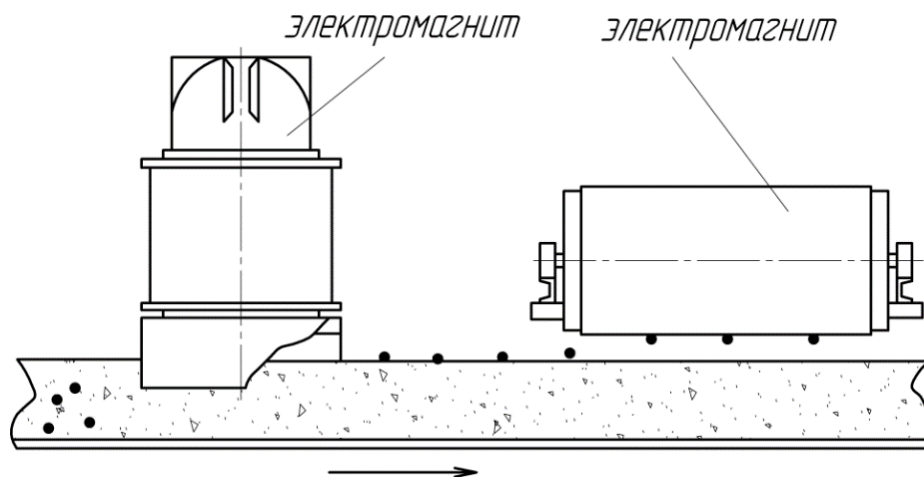


Рис. 2.1. Загальний вид магнітосепаруючого комплексу

Через певний проміжок часу t_P , що відповідає часу включення електромагніту, що вилучає феромагнітні включення, включається розвантажувальний електромагніт, а електромагніт, що вилучає, на короткий час t_H відключається від мережі живлення. В результаті вилучені феромагнітні предмети відпадають на поверхню матеріалу, що сепарується, і захоплюються транспортером під полюси розвантажувального електромагніту. Після цього вилучаючий електромагніт знову включається до мережі живлення і цикл його роботи повторюється.

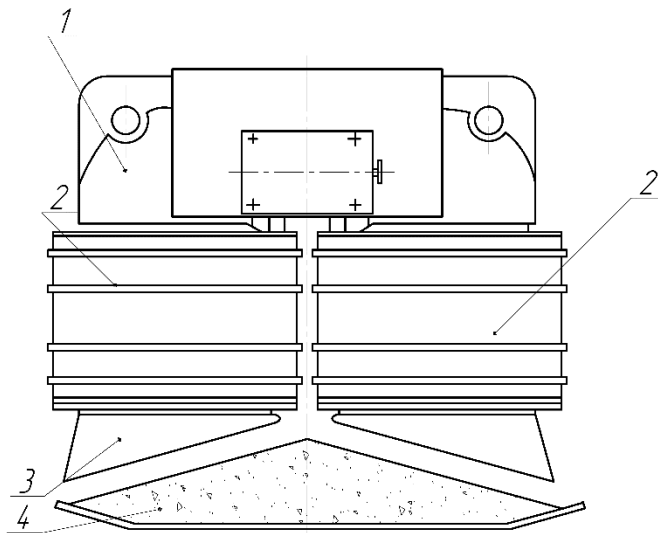
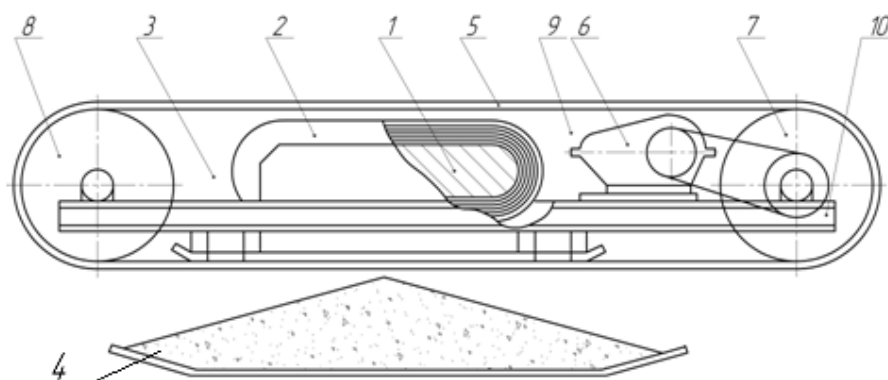


Рис. 2.2. Електромагніт, що вилучає: 1 – П-подібний магнітопровід;
2 – намагнічувальні котушки; 3 – полюсні наконечники;
4 – матеріал на стрічці транспортера

Феромагнітні предмети, потрапляючи в зону дії розвантажувального електромагніту, притягуються до полюсів цього електромагніту і за допомогою розвантажувальної стрічки, що рухається, виносяться за межі транспортера. Після цього розвантажувальний електромагніт знову відключається від мережі та цикл його роботи повторюється. Циклограма струмів електромагнітів представлена на рис.2.4.



Ри. 2.3. Розвантажувальний електромагніт: 1 – С-подібний магнітопровід; 2 – намагнічувальні котушки; 3 – полюсні наконечники;
4 – матеріал на стрічці транспортеру; 5 – розвантажувальна стрічка;
6 – привод; 7 – приводний барабан; 8 – натяжний барабан;
9 – жорстка немагнітна прокладка; 10 – рама

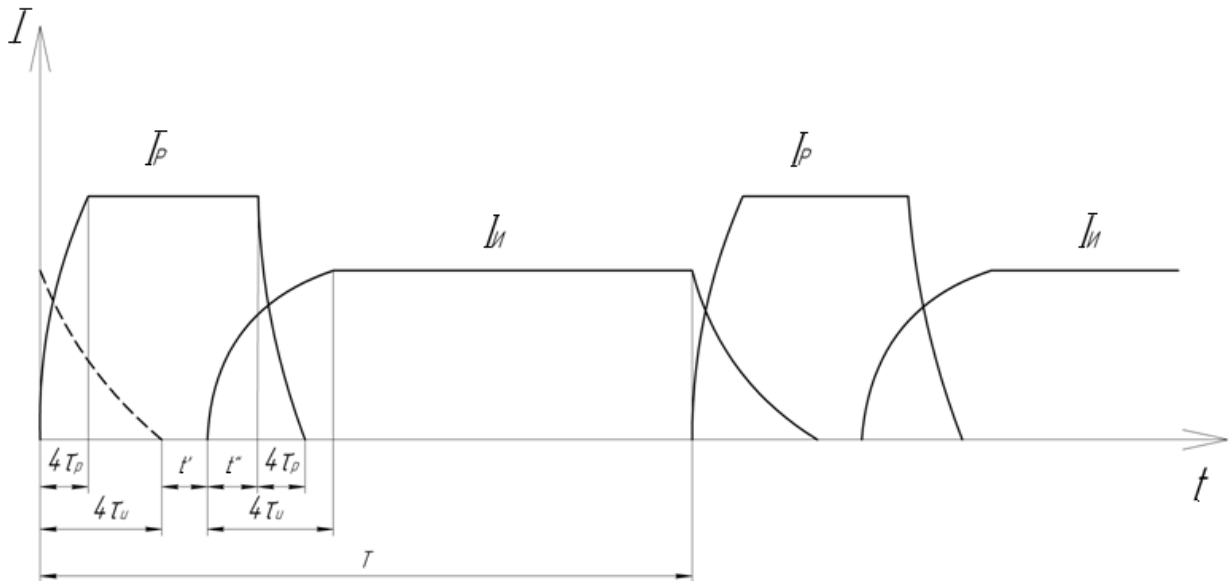


Рис.2.4. Циклограма намагнічуючих струмів вилучаючого та розвантажувального електромагнітів магнітосепаруючого комплексу

На рис.2.4 прийняті позначення:

I_M , I_P , τ_M , τ_P – струми, що намагнічують, та сталі часу електромагніту, що вилучає, та розвантажувального електромагніту, відповідно; сталі часу τ_M и τ_P визначаються шляхом розрахунків електромагнітів ($\tau_M=4,37$ с; $\tau_P=2,37$ с);

T – період циклу роботи електромагнітів (приймається $T=1230$ с); t' – час, що вводиться для збільшення надійності відпадання феромагнітних тіл при відключенні електромагніту (приймається $t' \approx 12,52$ с);

t'' – час, що вводиться для збільшення надійності автоматичного розвантаження (видалення) феромагнітних предметів (приймається $t''=10$ с).

Час увімкнення розвантажувального електромагніту: $t_{PP} = 4\tau_M + t' + t'' = 40$ с. Час увімкнення електромагніту, що вилучає: $t_{PI} = T - (4\tau_M + t') = 1200$ с. Час паузи розвантажувального електромагніту: $t_{PP} = T - t_{PI} = 1190$ с. Час паузи електромагніту, що вилучає: $t_{PII} = T - t_{PI} = 30$ с. Тривалість включення електромагніту, що вилучає: $(\text{ПВ}\%)_M = (t_{PI} / T_{Ц}) 100\% = 97,56\%$. Тривалість включення розвантажувального електромагніту: $(\text{ПВ}\%)_P = (t_{PP} / T_{Ц}) 100\% = 3,25\%$.

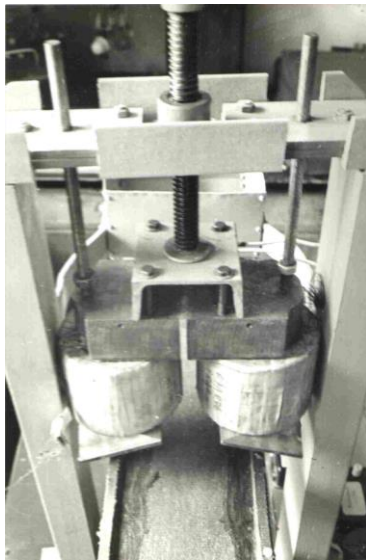
Для оцінки працездатності магнітосепаруючого комплексу, розробленого відповідно до запропонованого технічного рішення, були виготовлені фізичні моделі (в масштабі 1:10) вилучаючого (рис.2.5, а) і розвантажувального (рис.2.5, б) електромагнітів. Випробування на діючій фізичній моделі комплексу (рис.2.5, в) показали досить високу ефективність вилучення феромагнітних предметів із подрібнених ТПВ. Надійність вилучення феромагнітних тіл (масою 10 г і вище) при висоті підвіски 40 мм і найбільшій товщині матеріалу, що сепарується, на стрічці 35 мм склала 93,2%.

2.2 Магнітосепаруючий комплекс на основі підвісного та шківного електромагнітів

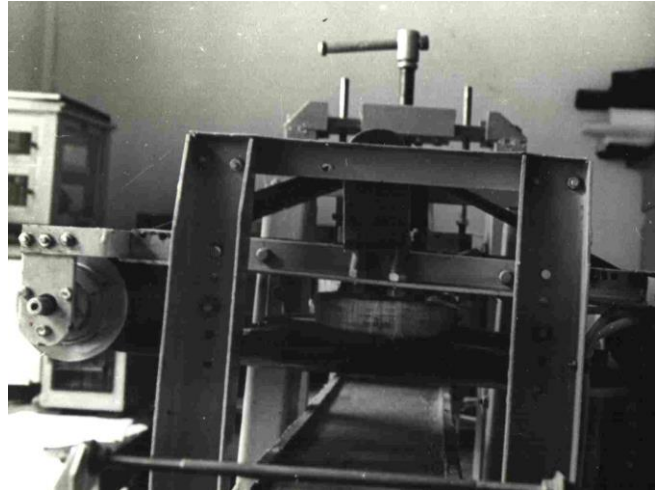
На рис.2.6 показаний магнітосепаруючий комплекс на основі П-подібного електромагніту, що вилучає, з профільованими полюсами та шківного розвантажувального електромагніту.

Магнітосепаруючий комплекс (рис.2.6) складається з стрічкового конвеєра 1, що транспортує подрібнені ТПВ 2 з феромагнітними включеннями 3 відповідно до технологічної схеми переробки ТБВ; підвісного електромагнітного сепаратора, що складається з магнітопроводу 7, намагнічувальних котушок 8 і полюсних наконечників 9, встановленого над стрічковим конвеєром 1; стрічковий конвеєр 5 зі скребками 6 для транспортування феромагнітних включень 3 в зону розвантаження. Привідний шків 4 стрічкового конвеєра 5 є електромагнітним і встановлено над стрічковим конвеєром 1 після підвісного електромагніту по ходу руху конвеєрної стрічки (стрілка А на рис.2.6) [19].

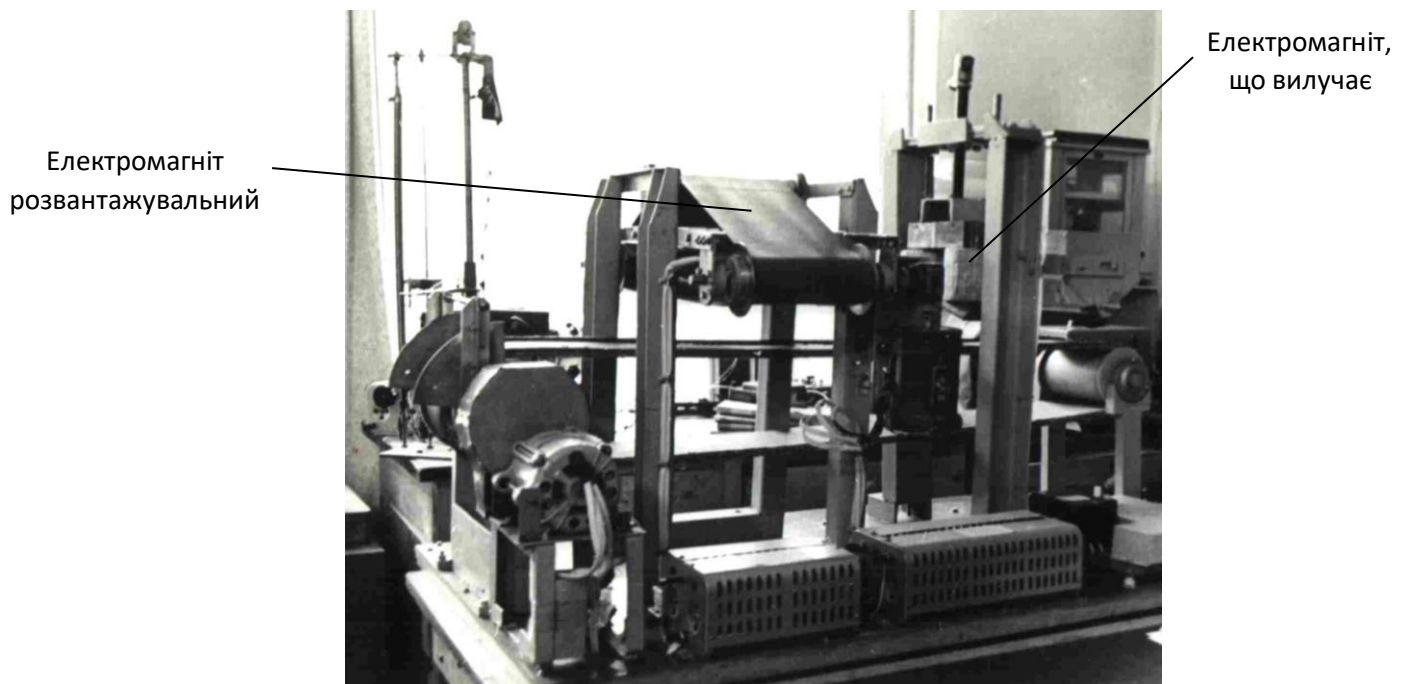
Магнітосепаруючий комплекс працює наступним чином. Подрібнені ТПВ транспортується стрічковим конвеєром 1. Підвісний електромагніт, що витягує, працює в повторно-короткочасному режимі (рис.2.7). При підключенні електромагніту до мережі постійного струму відбувається вилучення феромагнітних включень, що притягуються до його полюсів.



а)



б)



в)

Рис. 2.5. Магнітосепаруючий комплекс на основі П-подібного електромагніту, що вилучає, і С-подібного розвантажувального електромагніту: а) електромагніт, що вилучає; б) розвантажувальний електромагніт; в) загальний вигляд магнітосепаруючого комплексу

При виключенні електромагніту, що вилучає, феромагнітні включення відпадають від полюсів і потрапляють на поверхню матеріалу, що транспортується. Після чого феромагнітні включення переміщуються конвеєром 1 зону магнітного поля електромагнітного шківів 4, де вони витягуються і транспортуються стрічковим конвеєром 5 в зону розвантаження.

Електромагнітний шків 4 є розвантажувальним, підключений до джерела постійного струму (рис.2.6) і працює безперервно. Підвісний електромагніт з профільованими полюсними наконечниками витягує феромагнітні предмети масою 20 г і вище. Електромагнітний шків 4 забезпечує знімання з поверхні матеріалу феромагнітні предмети і транспортує стрічковим конвеєром 5 до зони розвантаження.

На циклограмі струмів електромагнітів, що намагнічують (рис.2.7), прийняті позначення: T – період циклу; t_0 – час відключення електромагніту, що вилучає, яке дорівнює $t_0 = 4\tau$, где τ – стала часу електричного кола котушок електромагніту, що вилучає.

Здійснимо кількісну оцінку ефективності роботи магнітнорозвантажувального комплексу [19-21]. Для цього врахуємо такі припущення:

- об'ємна маса феромагнітних предметів протягом певного періоду часу (дня, місяця тощо) має деяке незмінне середньостатистичне значення, що характеризує підприємство з переробки ТПВ;

- середньостатистична об'ємна маса феромагнітних предметів Q_{cp} , що вилучаються електромагнітним шківом, задовольняє умові через відомі недоліки шківів: наявність ділянки з ослабленим робочим полем для розвантаження скрапу і малою робочою зоною поля, обмеженою діаметром шківів.

Об'ємна середньостатистична маса феромагнітних включень Q_K , витягнута за час циклу T магнітнорозвантажувальним комплексом,

$$Q_K = Q_1 + Q_2 = Q_{cp} \left((T - t_0) / T \right) + Q_{in} (t_0 / T) = (Q_{cp} t_0 / T) (Q_{in} / Q_{cp} - 1 + T / t_0). \quad (2.3)$$

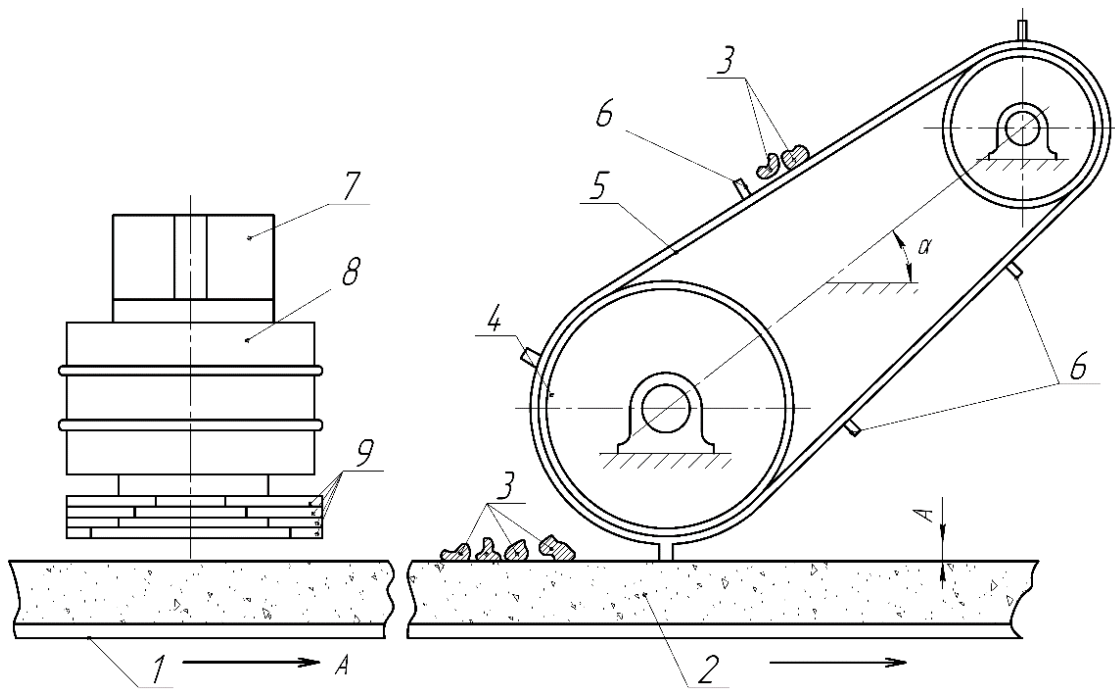


Рис. 2.6.Схема магнітосепаруючого комплексу: 1 – стрічковий конвеєр; 2 – матеріал; 3 – феромагнітні включення; 4 – приводний електромагнітний шків; 5 – стрічковий транспортер; 6 – скребки; 7 – магнітопровід; 8 – намагнічувальні котушки; 9 – полюсні наконечники підвісного електромагніту

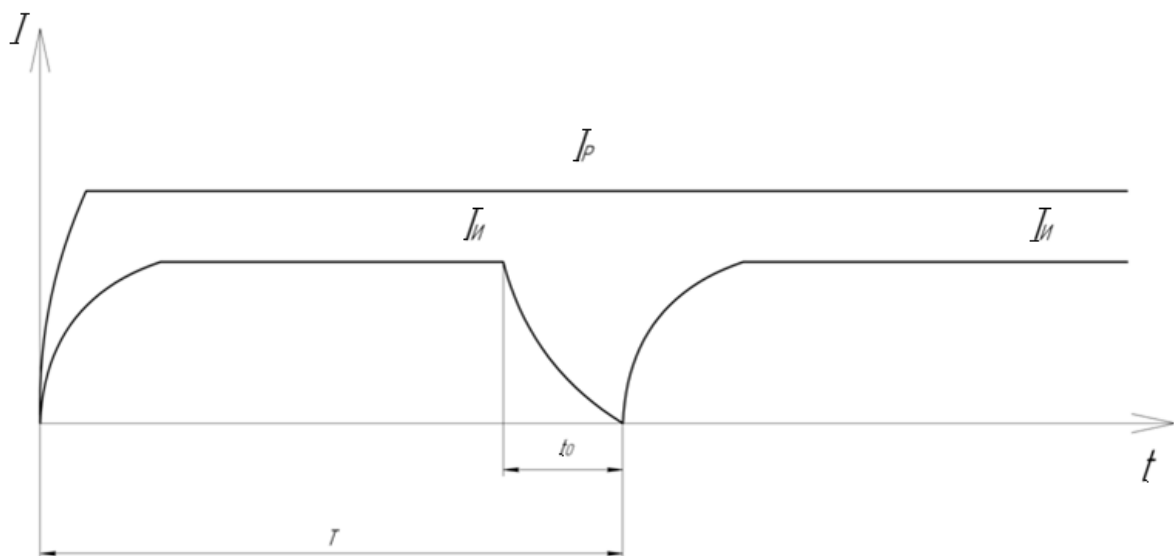


Рис. 2.7. Циклограма струмів електромагніту, що вилучає, і розвантажувального електромагніту магнітосепаруючого комплексу

З врахуванням цього формула для ефективності вилучення феромагнітних предметів магнітосепаруючим комплексом приймає вигляд

$$\eta_M = (Q_{ex} - Q_{вых}) / Q_{ex} = (Q_{cp} - (Q_{cp} - Q_K)) / Q_{cp} = (T - t_0) / T + t_0 Q_{us} / T Q_{cp}. \quad (2.4)$$

Ефективність роботи шківного сепаратора, який працює самостійно, визначається як

$$\eta_{us} = Q_{us} / Q_{cp}, \quad (2.5)$$

Тоді розрахунковий вираз для оцінки ефективності всього магнітосепаруючого комплексу матиме вигляд [19]

$$\eta_M = 1 - (t_0 / T)(1 - \eta_{us}). \quad (2.6)$$

При $0 < \eta_{us} < 1$ показник η_M комплексу лінійно залежить від величини t_0 / T , причому, чим менше t_0 / T , тим вище ефективність η_M роботи всього магнітосепаруючого комплексу.

На рис. 2.8 представлений графік залежності ефективності роботи η_M магнітосепаруючого комплексу як функції від відносного значення величини паузи t_0 / T електромагніту, що вилучає, для різних значень η_{us} . На рис. 2.8 також показана заштрихована зона значень ефективності η_M комплексу (в діапазоні значень $0,66 < \eta_M < 0,98$), яку слід вважати задовільною для експлуатації.

Аналіз результатів експериментальних досліджень ефективності роботи магнітосепаруючого комплексу, проведених в умовах виробництва з переробки твердих побутових відходів, показав, що ефективність роботи комплексу пропорційна до часу роботи електромагніту, що вилучає. На рис. 2.9 представлена залежність $\eta_M = f(t_0 / T)$, визначена експериментально (початкова точка при $t_0 / T = 1$ і відповідає ефективності роботи електромагнітного шківа, що розвантажує, рівної $\eta_{us} = 0,115$). На цьому ж рисунку зображена залежність, розрахована за допомогою формули (2.6).

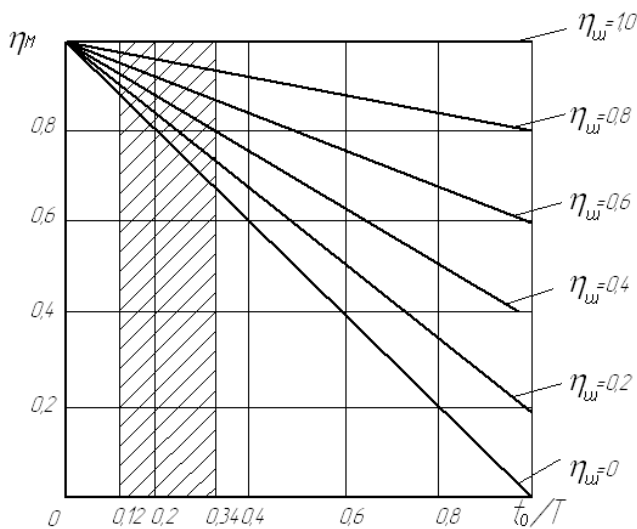


Рис. 2.8. Графіки ефективності η_M роботи магнітосепаруючого комплексу

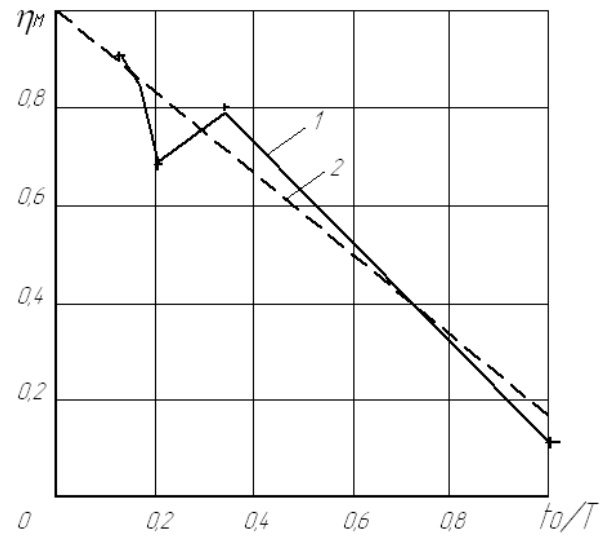


Рис. 2.9. Ефективність роботи магнітосепаруючого комплексу:
1 – експериментальна;
2 – розрахункова

Зіставлення розрахункової та експериментальної залежностей показало задовільний збіг результатів.

2.3 Магнітосепаруючий комплекс на основі двох підвісних електромагнітів з конусоподібною формою робочої поверхні

Пристрій для магнітного поділу сипких матеріалів (рис.2.9) [22] містить електромагнітні системи 1 і 2, виконані у формі зрізаного конуса і встановлені з можливістю обертання навколо горизонтальної осі, транспортер 3, приймачі продуктів поділу 4 і 5. Електромагнітні системи 1 і 2 (рис.2.9, б) встановлені під кутом α до основи транспортера ($\alpha=60^\circ-90^\circ$) з обох боків від осі симетрії транспортера та підключені до джерела змінного струму.

Режим роботи електромагнітних систем у запропонованому пристрої аналогічний режиму роботи відповідних електромагнітних систем структури-прототипу. Пристрій для магнітного поділу сипких матеріалів (рис.2.9) працює в такий спосіб.

Електромагнітні системи 1 та 2 підключаються до мережі змінного струму. При цьому одна з електромагнітних систем, наприклад, 2 підключена через фазозміщувальне пристрій (на рис.2.9 не показано).

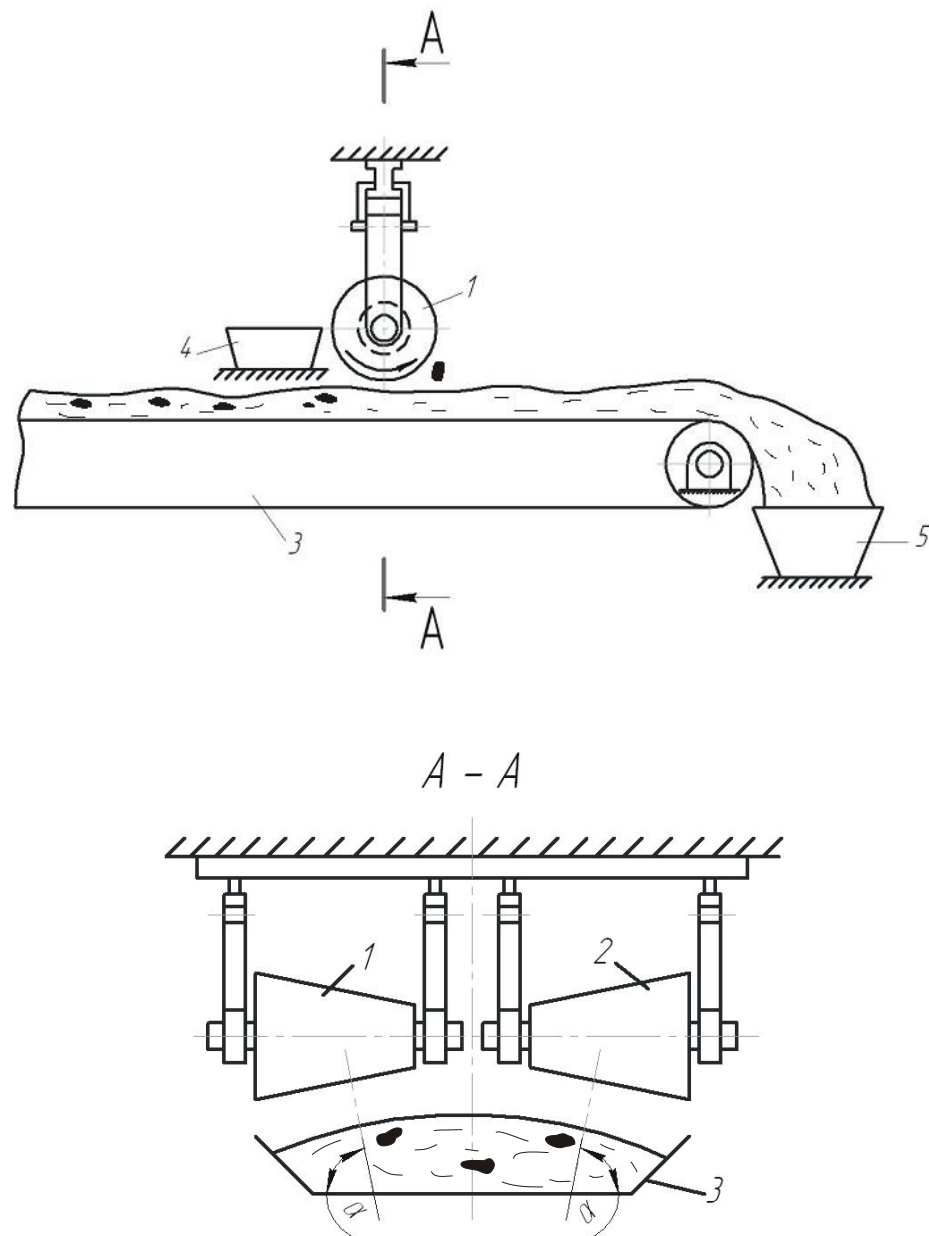


Рис. 2.9. Пристрій для магнітного розділення сипких матеріалів [21]: а) загальний вигляд; б) вид збоку (переріз А-А) (1, 2 – електромагнітні системи; 3 – транспортер; 4, 5 – приймальники продуктів поділу)

Феромагнітні частинки, що транспортується транспортером 3 разом з сипучим матеріалом під дією магнітних сил притягуються до робочих поверхонь електромагнітних систем 1 і 2. Завдяки можливості обертання електромагнітних систем 1 і 2 навколо горизонтальної осі феромагнітні частинки виносяться в зону розвантаження, де і збираються в приймач. матеріал, очищений від включень, за допомогою транспортера 3 потрапляє в приймач 5. Електромагнітні системи 1 і 2 з робочими поверхнями у формі

зрізаних конусів встановлені таким чином, що відстань між робочими поверхнями електромагнітних систем 1 і 2 і поверхнею матеріалу, що підлягає сепарації, зберігається приблизно однаковим.

У процесі поділу може мати місце винос із феромагнітними предметами деякої кількості сипучого матеріалу, що призводить до забруднення феромагнітної фракції. Конусна форма робочих поверхонь електромагнітних систем 1 і 2 забезпечує механічне скочування немагнітних частинок під дією сили тяжіння до транспортера 3, а далі - приймач немагнітної фракції 5.

Основна перевага комплексу полягає в тому, що в ньому забезпечується як безперервність процесу видалення, так і подальшого розвантаження феромагнітних предметів. При цьому усувається необхідність періодичного переміщення електромагнітних систем у зону розвантаження та відключення їх від електричної мережі. Крім того, конусоподібна форма електромагнітних систем сприяє зменшенню забруднення вилучених феромагнітних включень немагнітним матеріалом.

2.4 Магнітосепаруючий комплекс на основі двох підвісних електромагнітів з дископодібною формою робочою поверхні

Пристрій для магнітного поділу сипких матеріалів (рис.2.10) [23] містить електромагнітні системи 1 і 2 виконані у формі нерухомих напівдисків, під якими розташовані немагнітні розвантажувальні диски 3 і 4, що обертаються. Завдяки немагнітним розвантажувальним дискам 3 і 4 забезпечується безперервність процесу видалення та подальшого розвантаження феромагнітних предметів. Пристрій для магнітного поділу сипких матеріалів містить транспортер 5, поворотні пристрої 6, 7, приймачі 8, 9 феромагнітної фракції і приймач 10 немагнітної фракції.

Пристрій (рис.2.10) працює в такий спосіб. Змінний електричний струм подається до електромагнітних систем 1 та 2, виконаних у вигляді нерухомих напівдисків. При цьому одна з електромагнітних систем, наприклад, 2 підключена через фазозміщувальний пристрій (на рис. 2.10 не показано). Разом

з цим починають обертатися навколо осі розвантажувальні диски 3, 4 з немагнітного матеріалу.

Феромагнітні частинки, які транспортуються разом з сипучим матеріалом транспортером 5, під дією магнітних сил, створених електромагнітними системами 1 і 2, притягуються до поверхонь розвантажувальних дисків 3, 4, що обертаються, і виносяться ними в зону розвантаження, де і збираються в приймачі феромагнітної фракції.

Сипучий матеріал, очищений від феромагнітних включень, за допомогою транспортера 5 переміщується в приймач 10. Кут установки електромагнітних систем 1 і 2 до основи транспортера 5 може змінюватися за допомогою поворотних пристроїв 6 і 7 залежно кута природного укошу матеріалу, займаючи проміжне положення з діапазону 60-90град. За допомогою поворотних пристроїв 6 і 7 можна також регулювати відстань між електромагнітними системами 1, 2 і поверхнею матеріалу, що транспортується.

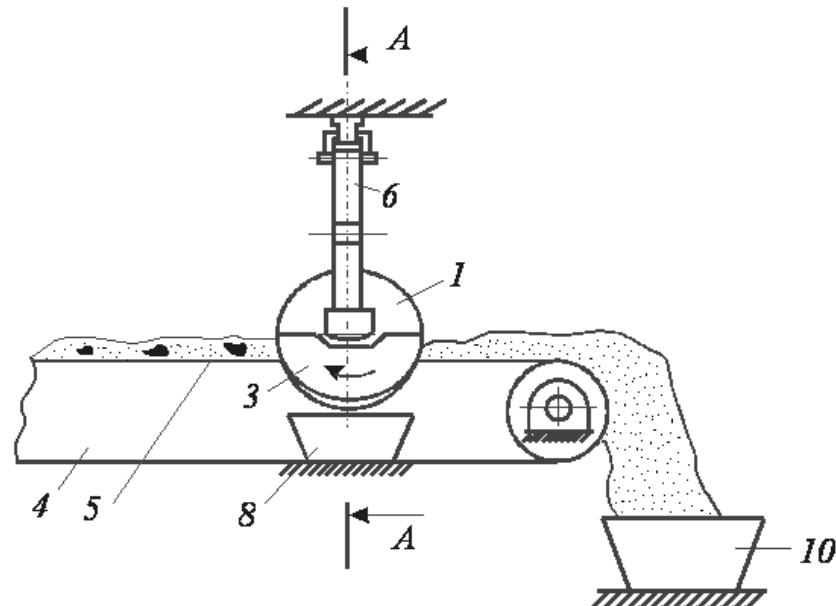


Рис. 2.10. Пристрій для магнітного розділення сипких матеріалів [22]: а) загальний вигляд; б) вид збоку (переріз А-А) (1, 2 – електромагнітні системи; 3, 4 – немагнітні розвантажувальні диски; 5 – транспортер; 6, 7 – поворотні механізми; 8, 9 – приймачі продуктів розділення)

Таким чином, основна перевага структури (рис.2.10) полягає у покращенні умов вилучення феромагнітних включень, т.к. зберігається приблизно однаковою відстань між поверхнями електромагнітних систем і поверхнею матеріалу, що транспортується конвеєром, при зміні кута природного укосу матеріалу. Крім того, пристрій (рис.2.10) забезпечує безперервне видалення і розвантаження вилучених феромагнітних предметів.

РОЗДІЛ 3 ОБҐРУНТУВАННЯ КУТА ВСТАНОВЛЕННЯ ПОЛЮСІВ ПІДВІСНИХ ЕЛЕКТРОМАГНІТІВ

Для обґрунтування кута установки полюсів підвісних П-подібних електромагнітних систем (рис.2.2, 2.5, а, 2.6), особливістю яких є наявність профільованих полюсних наконечників з похилою робочою поверхнею, що повторює форму матеріалу на стрічці транспортеру, було проведено експериментальні дослідження на фізичних моделях. Фізичне моделювання дозволило виконати вимірювання пондеромоторної сили магнітного поля при зміні кута α установки полюсів [23]. Фізична модель являє собою електромагніт постійного струму, що складається з П-подібного магнітопроводу 1, котушок 2, що намагнічують, знімних полюсних наконечників 3 (рис.3.1, 3.2). Магнітопровід виготовлений із сталі марки 15Л, а полюсні наконечники – зі сталі марки Ст.3. Поверхні моделі, що сполучаються, оброблені з високим класом шорсткості з метою забезпечення мінімальних неробочих повітряних зазорів в магнітному ланцюгу. Котушки намотані проводом ПЕВ-2 та виконані бескаркасними, бандажованими та просоченими лаком.

Конструкція кріплення полюсних наконечників дозволяє змінювати величину повітряного зазору у діапазоні $\delta=0 \dots \delta_{\max}$ ($\delta_{\max} = 30$ мм) для кожної пари полюсів. Для досліджень було використано полюсні наконечники (поз. 3 на рис.3.1) зі значеннями кута установки полюсів α , який дорівнює 50° , 60° , 70° , 90° . Кут $\alpha=90^\circ$ оптимальний при малих кутах природнього відкосу матеріалу на конвеєрній стрічці, коли нижня поверхня полюсних наконечників паралельна конвеєрній стрічці. Для оцінки ефективності вилучення магнітних тіл було виконано вимірювання сили, з якою магнітне поле діє на розміщене в певну точку робочого простору пробне феромагнітне тіло. Як пробне тіло використовувалися сталеві кульки.

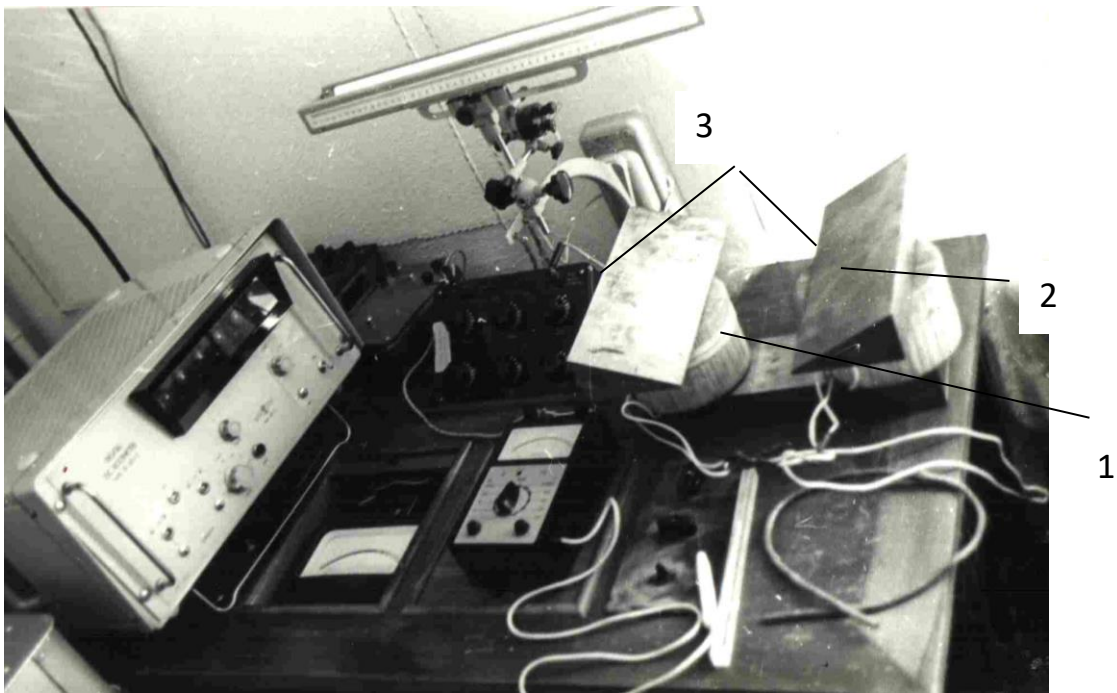


Рис. 3.1. Фізична модель для дослідження кута α установки полюсів:
1 – магнітопровід; 2 – котушки; 3 – полюсні наконечники

Позиціонування пробного тіла проводилося в характерних точках робочої зони фізичної моделі пристрою (рис. 3.3) поперек напрямку переміщення матеріалу за допомогою шаблону при перерахунку глибини вилучення H з урахуванням діаметра тіла D і товщини шаблону d (рис.3.3)

$$H = h' + D' + d', \quad (3.1)$$

де h' – відстань до шаблону.

Вимірювання сили здійснювалося динамометром (рис 3.4) у припущенні, що сила $\bar{F}_i + m\bar{g}$ (\bar{F}_i – пондеромоторна сила магнітного поля), що діє на пробне тіло, дорівнює силі, необхідної для його відриву від площини шаблону. На рис. 3.5 наведено отримані експериментальні криві розподілу сили по ширині робочої зони (на глибині вилучення $h'=20\text{мм}$) по п'яти характерних точках для різних значень δ і α . Як видно з представлених на рис.3.5 графіків, коливання сили по ширині робочої зони досить великі. Найбільша сила має місце при геометрії полюсних наконечників з наступними параметрами: $\alpha=70^\circ$ та $\delta=30\text{ мм}$.

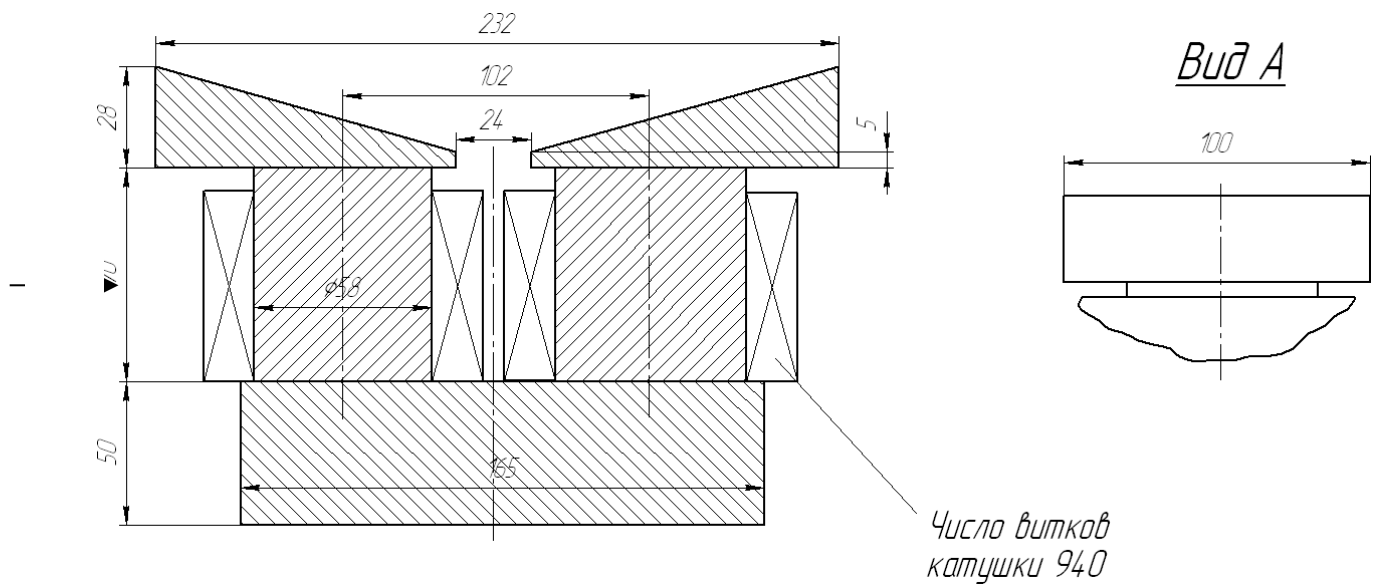


Рис. 3.2. Геометричні розміри фізичної моделі (масштаб 1:5)

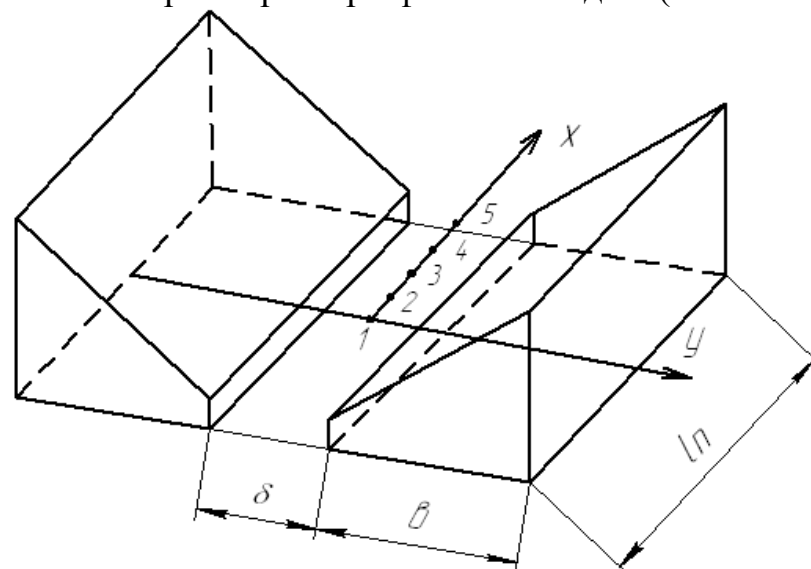


Рис. 3.3. Характерні точки робочої зони фізичної моделі
(δ – робочий міжполюсний зазор; b – ширина полюсних наконечників;
 l_{Π} – довжина полюсних наконечників)

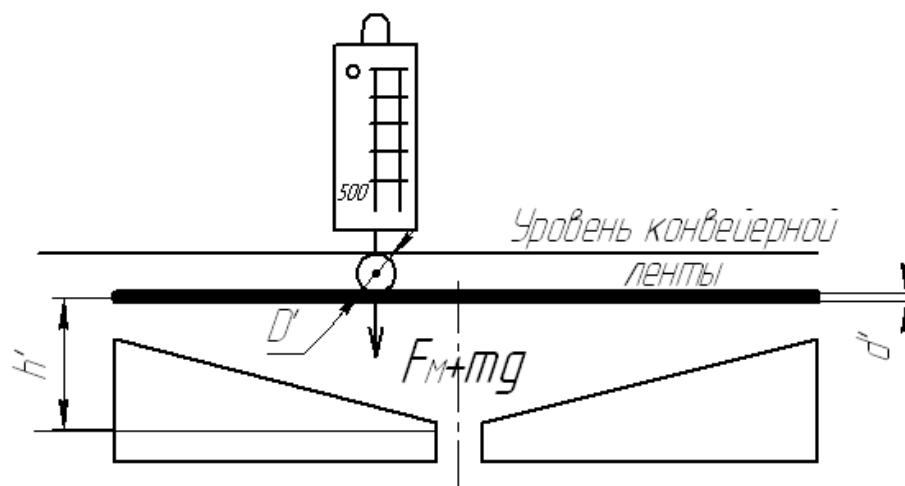


Рис. 3.4. Схема вимірювання сили, що діє на пробне тіло

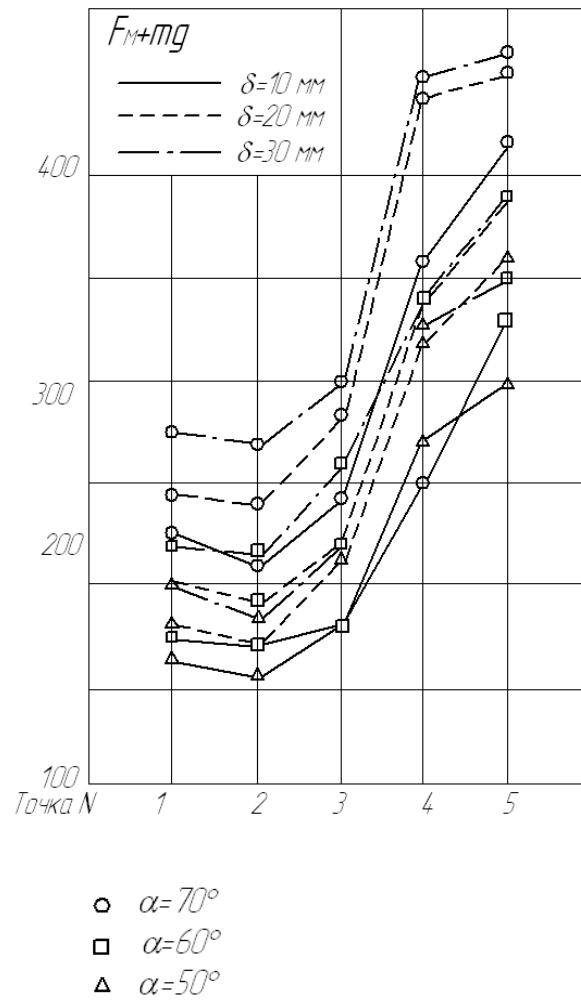


Рис. 3.5. Експериментальні значення сили $F_i + mg$

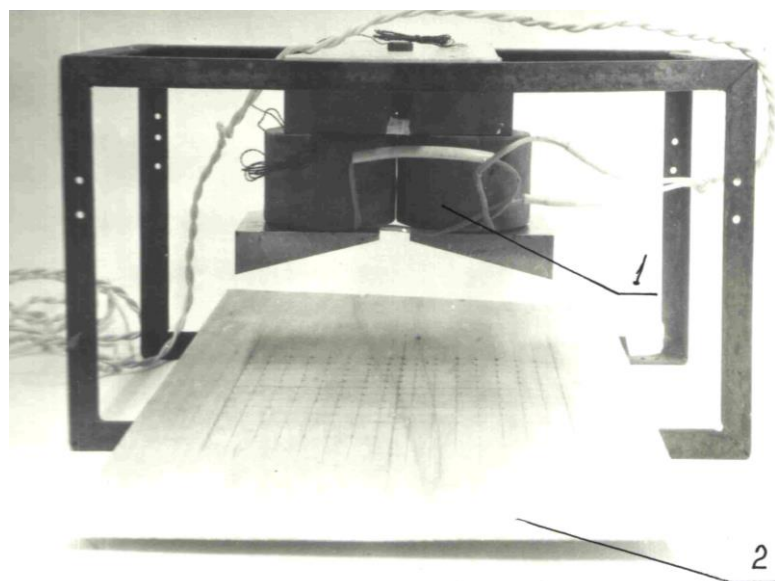


Рис. 3.6. Схема статичного експерименту:
1 – фізична модель; 2 – лунковий шаблон

Для фізичної моделі із зазначеними параметрами ($\alpha=70^\circ$ та $\delta=30$ мм) був проведений статистичний експеримент, схема якого показана на рис 3.6. Для цього на робочій глибині за допомогою лункового шаблону з кроком 10 мм рівномірно були розташовані пробні тіла. Використовувалися калібровані феромагнітні кульки діаметром 5 мм, як такі, що володіють найгіршою сприйнятливістю. Установка електромагнітних систем під кутами менше 60° та більше 90° призводить до значного зниження ефективності вилучення.

ВИСНОВКИ

1. Запропоновано технічні рішення, що задовольняють сукупності вимог щодо створення пристроїв для магнітного очищення сумішей сипких речовин, що транспортуються широкими стрічковими конвеєрами. Область технічних рішень представлена чотирма варіантами магнітосепаруючих комплексів.

2. Проведена експериментальна оцінка ефективності вилучення феромагнітних предметів з сипких матеріалів транспортним магнітно-сепаруючим комплексом на основі підвісних вилучаючого і розвантажувального електромагнітів з плоскою формою активної поверхні. Надійність вилучення феромагнітних тіл (масою 10 г і більше) при висоті підвіски 40 мм становила 93,2%.

3. Аналіз результатів експериментальних досліджень ефективності роботи магнітносепаруючого комплексу на основі вилучаючого електромагніту з плоскою формою робочої поверхні і розвантажувального електромагніту з циліндричною поверхнею показав, що ефективність роботи комплексу пропорційна часу роботи електромагніту, що вилучає. Отримані графічні залежності, що дозволяють визначати ефективність роботи магнітносепаруючого комплексу за відомою величиною паузи вилучаючого електромагніту. За допомогою отриманих залежностей обґрунтовано, що задовільним для експлуатації слід вважати ефективність комплексу в діапазоні значень 0,66 ... 0,98.

4. З використанням фізичної моделі проведено експериментальні дослідження з обґрунтування кута установки електромагнітних систем пристроїв для магнітного поділу сипких матеріалів, що транспортуються широкими стрічковими конвеєрами. Показано, що установка електромагнітних систем під кутом $\alpha = 60^\circ \dots 90^\circ$ до основи транспортера забезпечує високу ефективність вилучення феромагнітних пробних тіл.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Тверді побутові відходи в Україні: Потенціал розвитку. Сценарії розвитку галузі поводження з твердими побутовими відходами. – 114 с.
2. Svoboda J. *Magnetic Techniques for the Treatment of Materials*. Springer, Dordrecht, 2004, 642 p. <https://doi.org/10.1007/1-4020-2107-0>.
3. Електричні апарати: навч. посіб. / В. О. Лесько, В. О. Комар, С. В. Кравчук, О. В. Сікорська. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 102 с.
4. Ren, L. Magnetic field characteristics analysis of a single assembled magnetic medium using ANSYS software [Text] / L. Ren, Sh. Zeng, Y. Zhang // *International Journal of Mining Science and Technology*. – 2015. – 25. – P. 479–487.
5. Obertuffer I.A. Magnetic separation: a review of principles, devices and applications / I.A. Obertuffer // *IEEE Transactions On Magnetics*. – 1974. – Vol.MAG-10. – NO. 2. – P. 223-238.
6. Unkelbach K.H. *Magnetic separators mode of operation and applicability for the separation of materials*. – Köln: KHD Humboldt Wedag AG, 1990. – 87 p.
7. Shvedchykova I. Comparative analysis of inhomogeneity degree of magnetic field of polygradient magnetic separators for purification of bulk materials [Text] / I. Shvedchykova, Ju. Romanchenko, I. Nikitchenko // *Proceedings of the 2017 IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES)*, 15-17 Nov. 2017, Kremenchuk, Ukraine, p.144 – 147. IEEE Catalog Number: CFP17K83-ART.
8. T. M. Dimova, M. I. Marinova, B. R. Aprahamian and M. T. Marinov, "Investigation of the exploitation modes of a special type magnetic separator," *2017 15th International Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems (ELMA)*, Sofia, Bulgaria, 2017, pp. 444-447, doi: 10.1109/ELMA.2017.7955482.
9. T. Dimova, M. Marinova and B. Aprahamian, "Assessment of the influence of the magnetic filter type on the magnetic field of a separator type MCR-5," *2016 19th International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies (SIELA)*, Bourgas, Bulgaria, 2016, pp. 1-4, doi: 10.1109/SIELA.2016.7542990.

10. Shvedchykova I., Melkonova I., Romanchenko J. Research of magnetic field distribution in the working area of disk separator, taking into account an influence of materials of permanent magnets // *Eureka: Physics and Engineering*. - 2020. - No.1.
11. Shvedchykova. I., Melkonova, I., Melkonov, H. Determining the force function distribution in the working zone of a disk magnetic separator / // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5/5 (101) 2019. – С. 22-29.
12. Xin Liu, Da-zhi Wang, Zhi-wei Li, Wei Ouyang, Yan-ping Bao, Chao Gu, Efficient separation of iron elements from steel slag based on magnetic separation process, *Journal of Materials Research and Technology*, Volume 23, 2023, Pages 2362-2370, ISSN 2238-7854, <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.01.186>.
13. Dimova, T., Aprahaminian, B., Mariniva, M. Research of the Magnetic field inside a drum separator with permanent magnets. *ELMA*. doi: <https://10.1109/ELMA.2019.8771679>
14. Hisayoshi, K., Uyeda, C., Terada, K. Magnetic separation of general solid particles realised by a permanent magnet. *Scientific Reports*. doi: <https://6.38431.10.1038/srep38431>.
15. Gerlici, J., Shvedchikova, I. A., Nikitchenko, I. V., Romanchenko, J. A. Investigation of influence of separator magnetic system configuration with permanent magnets on magnetic field distribution in working area. *Electrical Engineering & Electromechanics*. 2017. №2. P. 13–17. doi: <https://doi.org/10.20998/2074-272x.2017.2.02>
16. Баришев, О.І. Розрахунки і проектування транспортних засобів безперервної дії: навч. посібник / О.І. Баришев, В.О. Будішевський, М.А. Склярів, А.О. Суліма, О.М. Ткачук; під ред. В.О. Будішевського. – Донецьк: Норд - пресс, 2005. – 689 с
17. Development of an Automatic Mini-Conveyor System for Product Monitoring [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/413/1/012021/pdf>.
18. Магнітні сепаратори для вторинної переробки. Компанія Goudsmit Magnetic System. – 14 с. Режим доступу:

<https://www.wamag.cz/file/869/magnitnye-separatory-dla-vtoricnoj-pererabotki.pdf>.

19. T. Dimova, B. Aprahamian, M. Streblau and M. T. Marinov, "Determining the Magnetic Forces in a Suspension Type Separator with Permanent Magnets," *2021 International Conference Automatics and Informatics (ICAI)*, Varna, Bulgaria, 2021, pp. 402-405, doi: 10.1109/ICAI52893.2021.9639527.

20. T. Dimova, B. Aprahamian and M. T. Marinov, "Experimental Evaluation of the Purification of Waste Materials with Belt Type Permanent Magnet Separator," *2022 22nd International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies (SIELA)*, Bourgas, Bulgaria, 2022, pp. 1-4, doi: 10.1109/SIELA54794.2022.9845688.

21. Малий Я.С., Шведчикова І.О. Експериментальні дослідження магнітного сепаратора для очистки сумішей сипучих матеріалів // Матеріали III Всеукраїнської науково-технічної інтернет-конференції «Технічні науки в Україні: сучасні тенденції розвитку», м. Ізмаїл-Київ, 18-19 листопада 2021 р. – С. 113-114.

22. Пат. 40433 Україна, МПК В 03 С 1/00. Пристрій для магнітного розділення сипучих матеріалів / Шведчикова І.О., Сухаревська Н.О., Мартиненко Н.В.; заявник та власник Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля. – №и 2008 12508; заявл. 24.10.08; опубл. 10.04.09, Бюл. № 7.

23. Пат. 61551 Україна, МПК В 03 С 1/24. Дисковий магнітний сепаратор / Шведчикова І.О., Земзюлін М.О., Хохола Т.В.; заявник і власник Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля. – №и 2010 14974; заявл. 13.12.10; опубл. 25.07.11, Бюл. № 14.