

## АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ СЕПАРАЦІЇ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ

*Кулеш Я.М.* – аспірантка, *kulesh201527041995@gmail.com*

*Панасюк І.В.* – д.т.н., професор, *panasjuk.i@knuvd.com.ua*

*Київський національний університет технологій та дизайну*

*Проведено аналітичний огляду існуючих сепараторів. Визначено області їх застосування. Систематизовано інформацію щодо раціонального вибору методів і технологічного обладнання для сепарації компонентів сипких матеріалів та виробів в залежності від технологічних завдань.*

*An analytical inspection of existing separators. The areas of their application are defined. The information on the rational choice of methods and technological equipment for the separation of components of bulk materials and products depending on the technological tasks is systematized.*

**Актуальність тематики дослідження.** Більшість методів виробництва сипких матеріалів та виробів з них дає продукти з широким гранулометричним складом, що часто є недоліком при їх використанні. Сепарація (розділення гранульованих порошків) входить та є невід’ємною частиною первинних процесів оброблення (харчової, гірничої, газовидобувної, сільськогосподарської та легкої промисловості). Одна з проблем, що існують це правильний вибір сепаратора для розділення фракцій сипких матеріалів та виробів.

**Постановка проблеми.** Мета роботи - аналітичний огляд існуючих сепараторів та визначення області їх застосування для раціонального вибору в залежності від технологічних завдань.

**Результати досліджень.** Широке використання сипких матеріалів потрібно використовувати метод масового їх поділу за розмірами завдяки сепаруванню. Маленькі розміри та маса гранульованих порошків потребують розвитку існуючих або нових методів поділу, таких як сепарація. Для того, щоб виявити найефективніший сепаратор, потрібно розділити на класи та охарактеризувати робочі органи.

Області використання сепараторів:

- у харчовій промисловості;
- у гірничій промисловості;
- у газовидобуванні;

- у сільському господарстві;
- у теплотехніці;
- у легкій промисловості.

Сепаратори, їх види та способи сепарації та сепаратора наведений на рис. 1. Спосіб сепарації залежить від процентного складу та властивостей суміші, і складових їх компонентів. Процеси сепарації різняться від зовнішніх умов і апарату, в якому відбувається розділення.

Існує дуже багато різних поділів сепараторів за різними факторами.

1. За способом сепарації. Сепаратори за різними способами або їх видами сепарації є безліч різноманітних, різняться якісними характеристиками компонентів і сумішей:

- розмір твердих частинок;
- масах;
- форм;
- щільності;
- коефіцієнтах тертя;
- міцності;
- пружності;
- зволоження поверхні;
- магнітної сприйнятливості;
- електропровідності;
- радіоактивності.

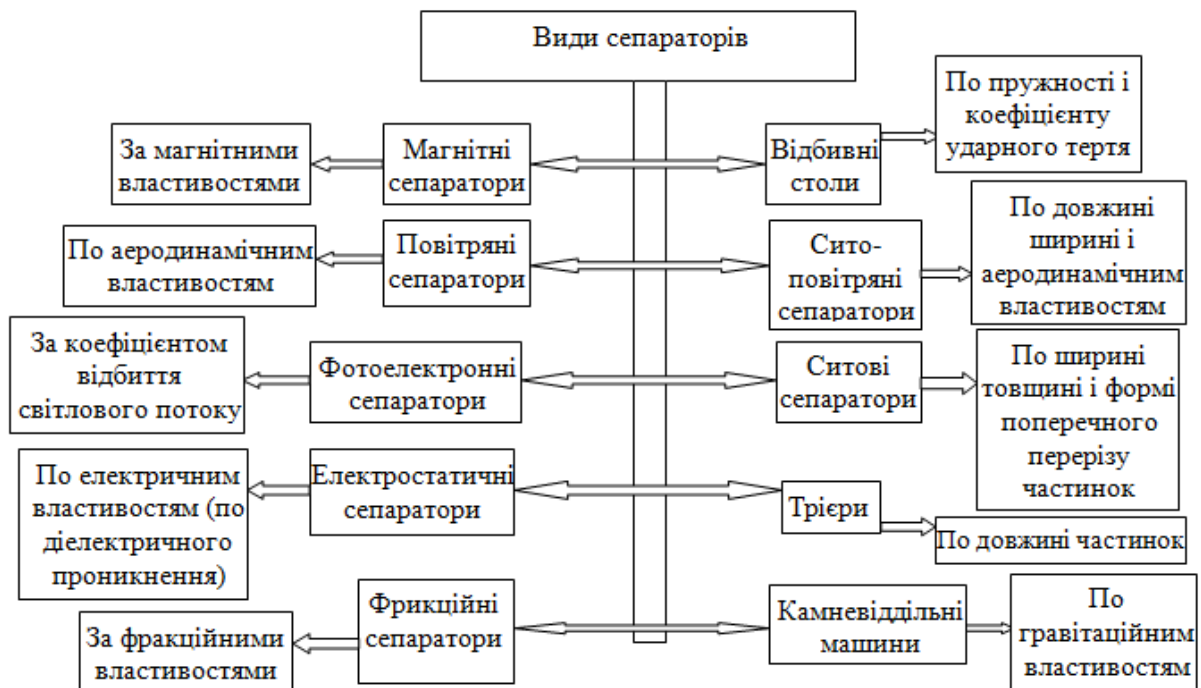


Рисунок 1 - Класифікація сепараторів різної дії

2. За принципом дії сепаратори можна поділити:

- відцентрові;
- відцентрово-вихрові;
- відстійні;
- центрифужні;
- прес-шнекові;
- вібраційні;
- відстійні.

3. За сферою використання є сепаратори які можна використовувати тільки в одній промисловості та ці, які використовують в багатьох напрямках:

- тваринництво - прес-шнековий;
- харчова – прес-шнековий;
- гірництво та видобуток корисних та хімічних копалин - магнітні та електромагнітні;
- медицина – аспіраційний хірургічний сепаратор;
- легка та хімічна - прес-шнековий...

В таблиці 1 наведені приклади видів сепараторів за конструкцією корпусу. Вибір конструкції корпусу сепаратора залежить від області використання починаючи з важкої та закінчуючи харчовою промисловістю. За конструкцією корпусу, можна дізнатися напрям промисловості в якій використовується сепаратор. Матеріали можна поділити завдяки природній, фізичній або біологічній характеристиці на дві групи:

До першої групи відносимо сипучу природу матеріала наприклад: зерна рослин (лікоподій); гравій; пісок та інші.

До другої групи сипучих гранульованих матеріалів відносимо механічне розбиття на частини чи дроблення.

*Таблиця 1*

Види сепараторів за конструкцією корпусу															
Барабанні	Камерні	Каскадні	Пластинчасті	Роторні	Кільцеві	Пірамідальні	Коритні	Конусні	Циліндричні	Спиральні	Сферичні	Вертикальні	Горизонтальні	Наклонні	Шнекові

Для сипких матеріалів використовують сепаратори безперервної та постійної дії.

Найчастіше для гранульованих сипучих порошків використовують сепаратори:

- Роторно-вібраційний сепаратор;
- Прес-шнековий сепаратор;
- Гравітаційно-спіральний сепаратор;
- Магнітний стержнево-трубний сепаратор;
- Декантерна центрифуга (шнекова);

В легкій промисловості гранульовані сипучі порошки використовують для виготовлення фурнітури .

Найчастіше для сепарації гранульованих порошків використовують сепаратори, в яких є, такий робочий орган як сито.

Сортування за розміром частинок називається просіюванням або грохоченням, а машини, які використовуються для цього процесу, — розсіюванням або грохотами. Термін «грохочення» і «грохот» використовують під час розділення крупнозернистих і шматкових матеріалів, «розсів» і «сита» — під час розділення дрібнозернистих сипких матеріалів.

Основним робочим органом сепараторів для гранульованих порошків являються сита, які можна розділити на два види: штамповані; тканинні.

Тканинні сита – шовкових або капронових ниток, а також термічно обробленого дроту.

Штамповані сита (решета) — виготовляються з оцинкованої листової сталі. Сортимент штампованих сит наведений на рисунку 4. Застосовуються при просіванні (грохочення) корисних копалин по крупності від 5 до 300 мм. Однак, найчастіше ш.с. застосовують для грохочення по крупності 10 – 150 мм, при необхідності мати більші отвори перевагу віддають колосниковим решіткам, при необхідності мати менші отвори – дротяним сіткам.

Штамповані сита (решета) являють собою сталеві листи з проштампованими отворами круглої, прямокутної і рідше квадратної форми, які розташовані лінійно, паралельними рядами, в шаховому порядку або «у ялинку». Товщина листа ш.с. залежить від розміру отворів (крупності грохочення) і становить 4 до 25 мм.

Основні переваги штампованих сит – жорсткість і зносостійкість конструкції у порівнянні з дротяними ситами, але вони ним поступаються за матеріалоємністю та величиною живого перетину, який рідко перевищує 40 %. Із збільшенням розміру отворів сита площа живого перетину збільшується, але при цьому зменшується жорсткість просіюючої

поверхні. Штамповані сита кріпляться на тих же рамках і тим же способом, що й дротяні, завдяки чому забезпечується їхня взаємозамінність.

Перевага сталевих решіт — висока зносостійкість (4 — 6 місяців), а решіт з литої гуми — у 10-20 разів більше. Недолік решіт — малий живий перетин (до 40 %).

Машини та розміщення сит можна поділити на 2 групи:

1 - машини с плоскими ситами:

- з нерухомими ситами;
- зі зворотно-поступальним рухом сит;
- з вібраційним рухом сит;
- з круговим рухом сит.

2 – машини с барабанними ситами:

- з горизонтальною віссю обертання (з циліндричними ситами, з конічними ситами, з призматичними ситами, з пірамідальними ситами);
- з вертикальною віссю обертання (з циліндричними ситами);
- похилені під певним градусом для кращого розподілу.

Згідно ДСТУ сита позначаються номерами, відповідними розміру сторони отвору (осередки) сітки в світлі, вираженого міліметрах. Так, наприклад, сито має квадратні отвори з довжиною сторони 0,5 мм.

Раніше сита характеризувалися числом осередків, що припадають на 1 погонний дюйм сітки (число меш), або числом отворів на 1 см сітки. У таких позначеннях не вказувалися розміри осередків сита, які залежать від товщини дроту. Таким чином, сита з однаковим числом меш (або отворів на 1 см \*) можуть мати різні розміри осередків, що створює незручності при практичному застосуванні.

Листові решета виготовляють з листів товщиною 3-12 мм, в яких штамнують круглі або довгасті отвори розміром 5-50 мм (припускаються розміри 1,6-125 мм); для зменшення можливості забивання їх роблять злегка розширеними донизу.

Колосники являють собою стрижні трапецієвидного перетину. Така форма зручна, тому що полегшує проходження матеріалу через розширені донизу зазори між колосниками. Визначення зернистого складу сипучих матеріалів проводиться за допомогою спеціального набору сит, розміри отворів яких зменшуються від сита до сита в постійному співвідношенні.

На рис. 2 наведено принципові схеми основних типів машин для просіювання.

Плоскі сита (рис. 2а) можуть бути як горизонтальні, так і нахилені. Зворотно-поступальний рух сит 2, які встановлені на опорах 3, здійснюється кривошипно-шатуном або ексцентриковим механізмом 1. Для того, щоб частинка переміщувалась по ситу, привідний вал повинен мати визначену частоту обертання. (рис. 3)

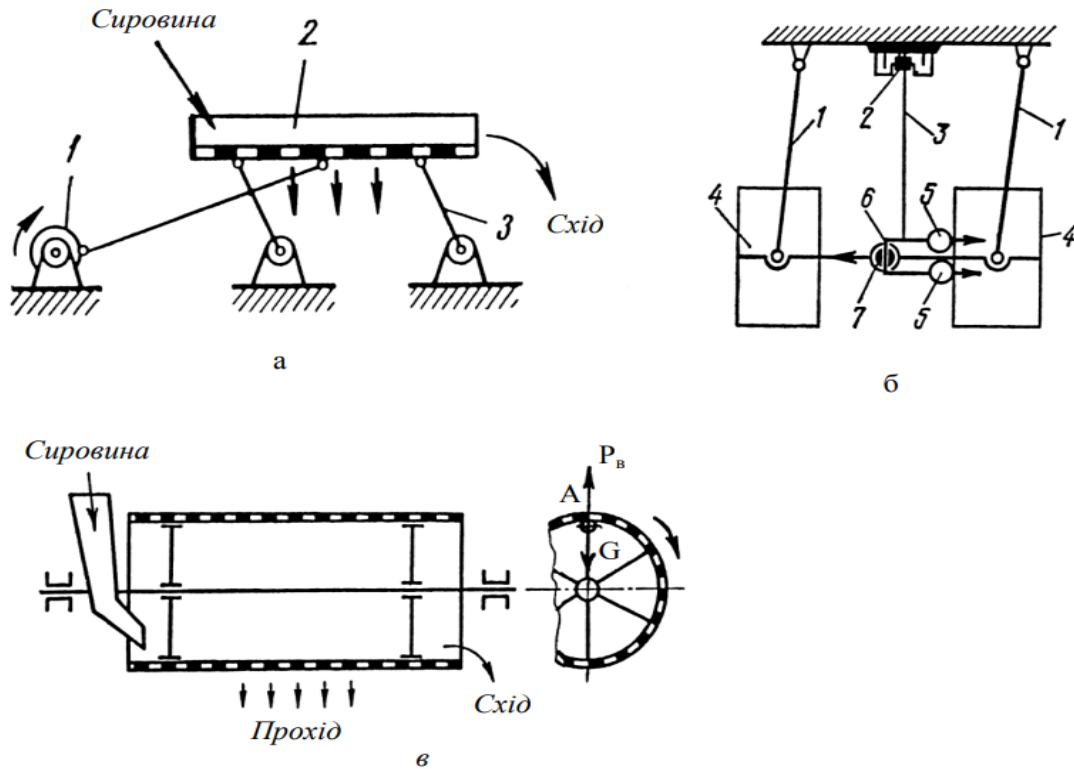


Рисунок 2 - Схеми машин для просіювання (сита): а — з поступальним рухом; б — з коловим поступальним рухом; в — з обертальним рухом.

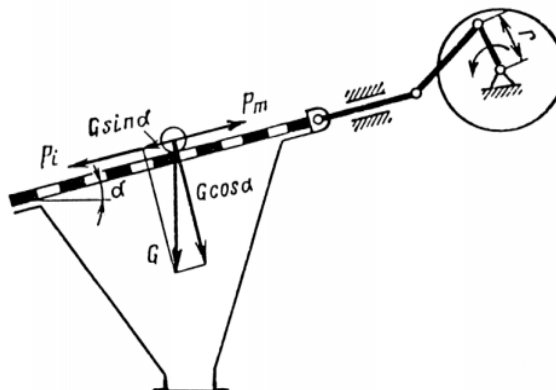


Рисунок 3 — Розрахункова схема похилого сита, що коливається

Під час сортування зернистої сировини використовується багатократне сепарування, що здійснюється одним із трьох способів (рис. 4):

а) від дрібного до крупного — через послідовний ряд сит із розмірами отворів, що збільшуються;

б) від крупного до дрібного — через розміщені один над іншим ситами з розмірами отворів, що зменшуються;

в) комбінований.

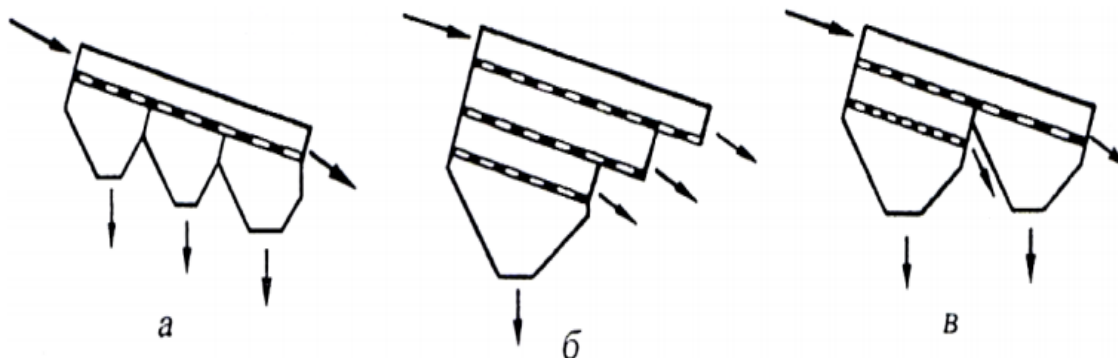


Рисунок 4 – Способи сепарування

Переваги сепарування першим способом (рис. 4 а) — зручність зміни сит і спостереження за їх станом, розосереджуваність розвантаження класів за довжиною сит, що полегшує розподіл класів. Недоліки цього способу — знижена ефективність, тому що вся маса продукту завантажується на сито з найдрібнішими отворами, які перекриваються великими шматками; перевантаження та підвищене зношування дрібних сит; значне подрібнення крихкого продукту.

Переваги сепарування другим способом (рис.4 б): більш висока ефективність сепарування; менше зношування сит унаслідок первісного відсіву великих шматків; менше подрібнення матеріалу; компактність установки. До недоліків цієї схеми слід віднести розвантаження матеріалу всіх класів біля одного кінця грохота, а також складність ремонту та заміни сит.

Для сортування продуктів помелу використовують машини з круговим поступальним рухом сит — розсіви (рис. 2, а). Сита у розсівах здійснюють кругові рухи, але не обертаються навколо вертикальної осі, а переміщуються по колу. Звичайно розсів складається із двох або чотирьох корпусів 4, у кожному з яких розміщено від 12 до 20 встановлених одне над одним горизонтальних сит різних номерів, що дозволяє розділити продукт на декілька (до семи) фракцій. Корпуси жорстко зв'язані між собою і за допомогою тросів 1 підвішені до несучої конструкції міжповерхового перекриття.

Бурати — машини з ситами, які обертаються, мають барабани циліндричної, шестигранної або конічної форми (рис.2 в). Робочу поверхню барабана виконано із сит з отворами різної величини. Вісь циліндричного і шестигранного буратів зазвичай розміщують під кутом  $5...10^\circ$  до горизонту, а конічного — горизонтально. Під дією сили тяжіння під час обертання барабана матеріал переміщується вздовж сита. Прохід зсипається у приймальний короб, який знаходиться під барабаном, а крупні частинки (відокремлені домішки) проходять всю довжину барабана і сходять із нього, перевалюючись через край.

Чим більша частота обертання барабана, тим більша продуктивність бурата. Проте із збільшенням частоти обертання зростає відцентрова сила, яка притискає матеріал до внутрішньої поверхні барабана.

Основний недолік буратів — невелика продуктивність у зв'язку з тим, що у роботі бере участь тільки частина їх ситової поверхні.

Вібраційні грохоти, порівняно з іншими сортувальними устроями, забезпечують більш високу продуктивність і чіткість розділення за меншої витрати енергії завдяки тому, що під час вібрування шар продукту на ситі інтенсивно розпушується, зменшується тертя між частинками; вони стають більш рухливими, що зумовлює відносний перерозподіл їх за розміром і прискорює виділення частинок на прохід.

У вібраційному грохоті (рис. 5) короб 2 з ситом 1 встановлений на пружинах 5. Під час обертання вала 4 з дебалансами 3 виникають відцентрові сили інерції, під дією яких коробу надається 900...1 500 коливань на хвилину за амплітуди коливань від 0,5 до 12 мм.

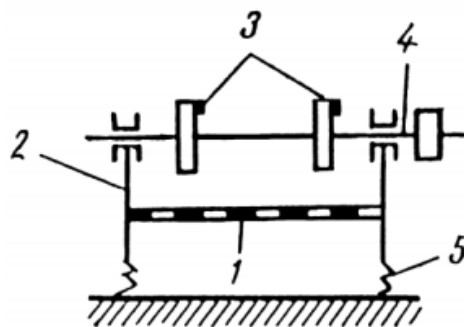


Рисунок 5 – Схема вібраційного грохота

Сортування за формою частинок. Цей спосіб сортування використовується на підприємствах для очищення зернистих сипучих порошоків від сміття і різних домішок, які мають такі ж, як і зерно, розміри у поперечному перетині, але відрізняються більшою чи меншою довжиною. На рис. 6 зображено принципову схему барабанного трієра,



використовують його для сортування за формою частинок. Внутрішня поверхня барабана 1, що обертається, має виштампувані заглиблення 2. Їх розміри і форма відповідають розмірам домішок, для виділення яких призначений цей трієр. Сипучий матеріал, що поступає до барабану з домішками, під час обертання укладається в заглиблення, причому домішки і половинки укладаються глибше, ніж цілі частини. Тому під час обертання барабана гранульований сипучий порошок випадають із заглиблень раніше (затримуються скребком 5) і потрапляють знову на дно барабана, а домішки і половинки піднімаються вище, випадають із заглиблень у жолоб 4 і виводяться із трієра за допомогою шнека 3. Завдяки обертовому руху відсортований гранульований порошок переміщується по барабану до протилежного кінця і відводиться через бокові отвори.

Трієри бувають барабанні та дискові, тихохідні (10...20 об/хв) і швидкохідні (40...50 об/хв).

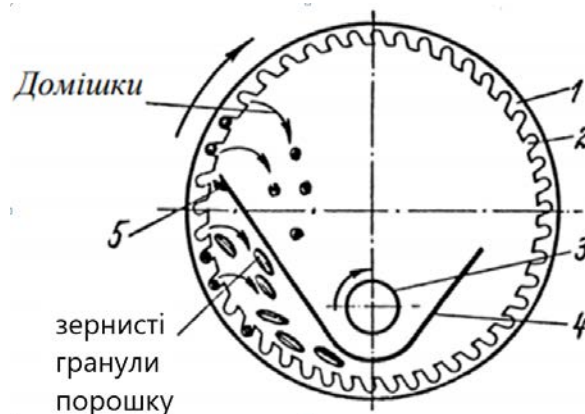


Рисунок 6 - Схема барабанного трієра

Гідравлічна класифікація і повітряна сепарація. Процеси поділу зерен наведені в таблиці 2, неоднаковою крупності на класи по різній швидкості їх осадження в рідкій і в із задушливої середовищах підкоряються загальним законам осадження твердих тіл. Гідравлічна класифікація здійснюється в горизонтальному або висхідному (і дуже часто комбінованому) водо-поточі. При цьому швидкість потоку вибирають такий, щоб з класифікатора виносилися, та прямували в слив, частинки з розмірами менше певної крупності, а в класифікаторі осідали частки великих розмірів, що володіють більшою швидкістю осадження (нижній продукт). Як і грохочення, водну класифікацію можна проводити

від великого до дрібного чи від дрібного до великого, а також комбінованим способом.

Сортування за аеродинамічними властивостями частинок. До цього способу відносяться пневматичне та відцентрове сортування. Воно основане на тому, що частинки матеріалу з різною густиною мають неоднакову швидкість падіння у повітрі. Спосіб очищення зернистих гранул від сміття та пилу за допомогою вітру відомий дуже давно. Цей процес назвали провіюванням, а устрої для його здійснення — віялками. Швидкість і дальність польоту частинки у потоці повітря залежить від напрямку і величини сил взаємодії частинки з повітряним середовищем, яке її обтікає.

Прикладом сортування у відцентровому полі може бути дисковий сепаратор, схему якого наведено на рис. 7.

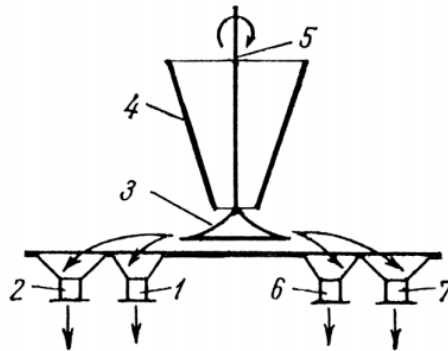


Рисунок 7 – Схема дискового сепаратора

Матеріал, призначений для сортування, через завантажувальний бункер 4 подається на швидкообертовий диск 3 з привідним валом 5. На дискові 3 частинки суміші набувають відцентрової сили і під її впливом злітають із диска. Залежно від густини та розмірів частинок відцентрова сила, що впливає на них, різна. Тому частинки з меншою густиною або розміром подають у збірники 1 і 6, які мають більшу густину або більший розмір, летять далі (до збірників 2 і 7).

Сортування за магнітними та електростатичними властивостями. У сипких матеріалах зустрічаються випадкові домішки у вигляді сталених і чавунних частинок, які під час потрапляння до машин можуть викликати поломку робочих органів. Тому виокремленню металічних домішок у виробництві надається особлива увага. Для цього використовують магнітні та електромагнітні сепаратори. Електромагнітний сепаратор (рис. 8) є одночасно і основним барабаном 5 стрічкового транспортера 1, який переміщує сипкий матеріал 4 з бункера 3.

Усередині основного барабана розміщено електромагніт 6, який використовує постійний струм. Стрічка транспортера огинає цей барабан, і металічні частинки затримуються на ній у зоні магнітного поля. Продукт, який не має магнітних властивостей 7, відокремлюється від поверхні стрічки і зсипається до збірника 8. Металеві частинки 9, які затримуються на стрічці у зоні впливу магніту, після виходу з неї знімаються з нижньої гілки стрічки скребком 2 і падають до бункера 10.

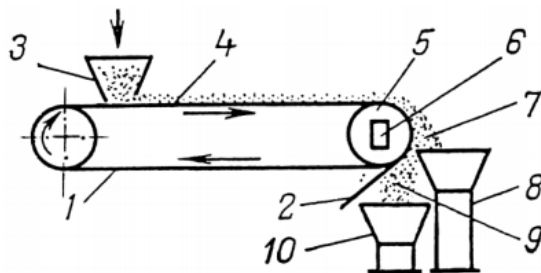


Рисунок 8 – Схема барабанного електромагнітного сепаратора

Розроблено метод електрокласифікації сипких матеріалів. Сипкі матеріали в електричному полі високої напруги можна класифікувати (сортувати) за формою частинок, їх розмірами, густиною сортованого матеріалу, різницею діелектричної проникності та ін. Електрофізичні основи роботи електрокласифікаторів принципово не відрізняються від основ роботи електрофільтра.

Так, як було сказано раніше, найчастіше для гранульованих сипучих порошків використовують сепаратори. Це наступні:

1. відцентрові, відцентрово-вихрові сепаратори працюють на використанні сили самого потоку повітря (газу). Ці сепаратори найефективніші для очищення газу (повітря) від хутра, вологи та домішок без використання елементів фільтрації. Відцентрові сепаратори можна розділити на три види: саморозвантажувальні; соплові; з суцільною оболонкою барабана;

2. центрифужні сепаратори працюють всі за принципом обертання барабана під великою відцентровою силою, в тисячі раз більшою сили тяжіння. Сепарація і седиментація відбуваються безперервно та швидко;

3. сепарація в прес-шнекових сепараторах – це процес з просіювання фільтрації та пересування. Шнек обертається в циліндричному ситі. Сито може мати розмір вічок від 0,1 до 1,0 мм. Первинна речовина подається в робочу частину сепаратора. В ситі з частинок, які мають розмір більший ніж осередок сита, створюється фільтруючий шар, який і повинен затримувати дрібні частини в рідині. Лопоті шнека просувають тверді частинки до випускного отвору.

**Висновки.** В результаті проведеного аналітичного огляду існуючих сепараторів та визначення області їх застосування систематизовано інформацію щодо раціонального вибору методів і технологічного обладнання для сепарації компонентів сипких матеріалів та виробів в залежності від технологічних завдань.

#### Список використаних джерел

1. Плановский А.Н., Рамм В.М., Каган С.З. Процессы и аппараты химической технологии / Москва 1967, - 96 с.
2. Білецький В.С., Олійник Т.А., Смирнов В.О., Скляр Л.В. Техніка та технологія збагачення корисних копалин Кривий Ріг 2019. – 87 с.
3. Смирнов В. О., Сергеев П. В., Білецький В. С. Технологія збагачення вугілля. Навчальний посібник. — Донецьк: Східний видавничий дім, — 2011.
4. Калашников С.В. Акустическая сепарация нанопорошков по размерам частиц: развитие метода и приложения / Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук / [Електронний ресурс]: Режим доступу: [avtoref\\_KalashnikovSV.pdf](#) Улан-Удэ – 2019
5. Котов Б.І. Тенденції розвитку конструкцій машин та обладнання для очищення і сортування зерно матеріалів [Текст] / Б.І. Котов, С.П. Степаненко, М.Г. Пастушенко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Вип. 33. – Кіровоград, 2003.
6. Алієв Ельчин Бахтияр огли. Дисертація механіко-технологічні основи процесу прецизійної сепарації насінневого матеріалу соняшнику - Харків – 2020 / [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://khntusg.com.ua/wp-content/uploads/2020/02/disertacija-aliiev.pdf>
7. Абдуєв М.М. Обґрунтування параметрів сепаратора з нахиленим повітряним каналом для розділення зернових сумішей / М.М. Абдуєв // Автореф. дис...канд.техн.наук. – Харків, 2007.
8. Шведчикова І. О., Романченко Ю. А. Дослідження силових характеристик поліградієнтного електромагнітного сепаратора при зміні форми пластин матриці. - Вісник КНУТД №4 (124), 2018
9. Технические характеристики сепараторов КБС [Електронний ресурс]: Режим доступу: <http://kmzindustries.ua>
10. Сепараторы виброцентробежные универсальные БЦСМ [Електронний ресурс]: Режим доступу: <http://www.vibroseparator.ua>
11. Сарана В.В., Аношкін О. С. Аналіз барабанних та роторних зерноочисних сепараторів [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://journals.indexcopernicus.com/api/file/viewByFileId/772317.pdf>