

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»**

**Застосування електричних і магнітних полів у промисловому
та сільськогосподарському виробництві**

Частина 2

ТЕХНОЛОГІЇ, ЗАСНОВАНІ НА СИЛОВІЙ ДІЇ ЕЛЕКТРИЧНИХ І МАГНІТНИХ ПОЛІВ

Навчальний посібник

**Київ
НТУУ «КПІ»
2016**

Бржезицький В.О., Козюра В.В., Козюра В.М.

**Застосування електричних і магнітних полів у промисловому та
сільськогосподарському виробництві**

Частина 2

ТЕХНОЛОГІЇ, ЗАСНОВАНІ НА СИЛОВІЙ ДІЇ ЕЛЕКТРИЧНИХ І МАГНІТНИХ ПОЛІВ

Навчальний посібник

з дисципліни «Застосування електричних і магнітних полів у промисловому та сільськогосподарському виробництві» для напрямів підготовки (спеціальностей): 6.050701 «Електротехніка та електротехнології», спеціальність «Техніка і електрофізика високих напруг

*Рекомендовано Методичною радою НТУУ «КПІ»
(протокол № 7 від «06» червня 2016 р.)*

**Київ
НТУУ «К П І»
2016**

Застосування електричних і магнітних полів у промисловому та сільськогосподарському виробництві. Частина 2. Технології, засновані на силовій дії електричних і магнітних полів. / Навчальний посібник з дисципліни «Застосування електричних і магнітних полів у промисловому та сільськогосподарському виробництві» для напрямів підготовки (спеціальностей): 6.050701 «Електротехніка та електротехнології», спеціальність «Техніка і електрофізика високих напруг. // Укладачі : В. О. Бржезицький, В.В. Козюра, В. М. Козюра . – К.: ФЕА НТУУ «КПІ», 2016. – 119 с.

ТЕХНОЛОГІЇ, ЗАСНОВАНІ НА СИЛОВІЙ ДІЇ ЕЛЕКТРИЧНИХ І МАГНІТНИХ ПОЛІВ

*Затверджено Методичною радою НТУУ "КПІ"
(протокол № 7 від 06 червня 2016 р.)*

Укладачі:

Бржезицький Володимир Олександрович
Козюра Володимир Володимирович
Козюра Володимир Миколайович

Відповідальний редактор:

О. Р. Проценко, кандидат технічних наук, доцент кафедри
техніки і електрофізики високих напруг НТУУ «КПІ»

Рецензенти:

В. П. Куєвда, кандидат технічних наук, професор кафедри
елеропостачання і енергомененджменту Національного
університету харчових технологій

І. В. Божко, кандидат технічних наук, старший науковий
співробітник Інституту електродинаміки НАНУ

В. М. Сулейманов, кандидат технічних наук, професор
кафедри електричних мереж і систем НТУУ «КПІ»

З М І С Т

Передмова.....	6
Вступ.....	7
РОЗДІЛ 1. ОБЕЗВОДНЕННЯ НАФТОПРОДУКТІВ	
3 ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПОЛІВ.....	10
1.1. Основні положення.....	10
1.2. Основи обезводнення нафтопродуктів в електричному полі.....	12
1.2.1. Седиментація крапель води в нафтопродукті.....	13
1.2.2. Рух заряджених крапель в електричному полі в нафтопродукті.....	14
1.2.3. Процеси укрупнення крапель води.....	14
1.2.4. Зарядження крапель води в нафтопродукті.....	17
1.3. Технології обезводнення нафтопродуктів.....	18
1.3.1. Глибоке обезводнення нафтопродуктів.....	18
1.3.2. Надглибоке обезводнення.....	20
1.3.3. Обезводнення високообводнених нафт і аномально стійких емульсій.....	21
1.4. Конструкції промислових технологічних установок для знесолення і обезводнення нафти і нафтопродуктів.....	24
1.4.1. Загальна характеристика.....	24
1.4.2. Кульові електродегідратори.....	28
1.4.3. Вертикальні електродегідратори.....	29
1.4.4. Горизонтальні електродегідратори.....	30
1.4.5. Електрокоалесцер.....	33
<i>Контрольні питання та завдання.....</i>	35
Розділ 2. ЕЛЕКТРОСЕПАРАТОРИ	36
2.1. Загальні положення.....	36
2.2. Електричні методи сепарації.....	39
2.3. Аналіз діючих сил при процесах електросепарації	41
2.4. Підготовка вихідного матеріалу до електросепарації.....	47
2.5. Конструкції електросепараторів.....	49
2.5.1. Барабанні електростатичні сепаратори.....	49
2.5.2. Барабанні коронні сепаратори.....	50
2.5.3. Барабанні коронно-електростатичні сепаратори.....	51
2.5.4. Лоткові похилі електростатичні сепаратори.....	52
2.5.5. Барабанні трибоелектростатичні сепаратори.....	54
2.5.6. Камерні електростатичні сепаратори вільного падіння..	55
2.5.7. Сепаратор з киплячим шаром (трибоелектростатичний флюїдизаційний сепаратор.....	56
2.5.8. Піроелектричні сепаратори.....	57
2.5.9. Діелектричні сепаратори	58

2.6. Застосування електросепараторів у сільськогосподарському виробництві	61
Контрольні питання та завдання.....	66
РОЗДІЛ 3. МАГНІТНА СЕПАРАЦІЯ.....	67
3.1. Основи методу магнітної сепарації.....	67
3.1.1. Основні величини, що визначають поведінку речовин в магнітному полі.....	69
3.1.2. Явище рівнопритягання.....	75
3.1.3. Магнітні властивості мінералів.....	75
3.1.4. Магнітні поля сепараторів.....	80
3.1.5. Продуктивність сепараторів та чинники, що впливають на процес магнітної сепарації	86
3.2. Конструкції магнітних сепараторів.....	88
3.5.1. Еволюція конструкцій магнітних сепараторів.....	84
3.5.2. Класифікація конструкцій магнітних сепараторів	90
3.5.3. Барабанні магнітні сепаратори	92
3.5.4. Валкові сепаратори.....	96
3.5.5. Дискові сепаратори.....	97
3.5.6. Поліградієнтні сепаратори.....	99
3.5.7. Сепаратори з надпровідними магнітними системами....	100
Контрольні питання та завдання.....	102
РОЗДІЛ 4. ТЕХНОЛОГІЧНІ ЗАСТОСУВАННЯ	
ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНОГО ЕФЕКТУ	103
4.1. Фізичні основи електрогидравлічного ефекту.....	103
4.2. Електрогидравліка в промислових технологіях.....	107
4.3. Застосування електрогидравлічного ефекту в сільськогосподарському виробництві	111
Контрольні питання та завдання.....	117
Список використаної та рекомендованої літератури.....	118

Передмова

В 2013 році укладачами було підготовлено електронне навчальне видання «Застосування електричних і магнітних полів у промисловому та сільськогосподарському виробництві: Частина 1. Характеристики і властивості аерозольних систем» (надано гриф «Рекомендовано Методичною радою НТУУ «КПІ» від 25.04.2013 р., протокол №8). В навчальному посібнику розглянуто основні закономірності, властивості і представлення про електрофізичні процеси в природних та антропогенних аеродисперсних системах при дії електричних і магнітних полів; методи електричного очищення газів від аерозолів з розглядом реальних промислових систем уловлювання аерозолів, що застосовуються в промисловому і сільськогосподарському виробництві.

У вищезгаданому виданні не всі розділи навчальної програми дисципліни «Застосування електричних і магнітних полів у промисловому та сільськогосподарському виробництві» були розглянуті.

Представлений новий навчальний посібник по вказаній дисципліні доповнює попередній та закриває вказану прогалину висвітлення навчальної програми.

Завданням нижче представленого електронного навчального видання «Застосування електричних і магнітних полів у промисловому та сільськогосподарському виробництві: Частина 2. Технології, засновані на силовій дії електричних і магнітних полів» є викладення сучасних уявлень про електрофізичні процеси при обезводненні та обезсоленні нафти і світлих нафтопродуктів; електричній і магнітній сепарації та збагаченню корисних копалин; застосуванні електрогідравлічного ефекту в промисловому і сільськогосподарському виробництві.

ВСТУП

В останні десятиріччя інтенсивно розвиваються електрофізичні технології, засновані на застосуванні силової дії електричних і магнітних полів у промисловому та сільськогосподарському виробництві.

Зокрема, процеси електричної і магнітної сепарації, засновані на відмінності електричних і магнітних властивостей компонентів, що розділяються, знаходять широке застосування для збагачення руд чорних, рідкісних і кольорових металів.

Підвищення ефективності збагачення корисних копалин є однією з найважливіших проблем і завдань в області переробки мінеральної сировини і залежить від досконалості методів і критеріїв, на основі яких приймаються рішення по вибору техніки і технології збагачення.

Електронно-іонні високовольтні технології в теперішній час широко використовуються при обезводненні сирої нафти і світлих нафтопродуктів.

Виведення води із нафтопродукту за вказаними технологіями відбувається в результаті зарядження і руху частинок води в електричному полі таким чином, щоб краплі води вийшли за межі об'єму нафтопродукту.

Застосування цих технологій дозволяє забезпечити високу якість нафтопродуктів завдяки максимальному виведенню із них солей та води.

Природні ресурси поступово скорочуються, і у зв'язку з цим, до розробки залучаються усе більш бідні за вмістом корисних компонентів родовища.

Виходячи з цих умов, належить постійно шукати найбільш раціональні методи видобутку корисних копалин, розробляти і впроваджувати маловідходні та безвідходні технології збагачення руд, обезводнення і обезсолення сирої нафти і світлих нафтопродуктів.

Основними напрямками застосування силової дії електричних і магнітних полів на компоненти матеріалів речовин при розробці нових технологій є :

- комплексність використання мінеральної сировини;
- впровадження ефективних, менш енергоємних і екологічно чистих

- технологічних процесів у сільськогосподарське виробництво;
- підвищення комплексності використання корисних копалини з вилученням з них цінних компонентів і утилізацією відходів.

Таким чином, застосування електричних і магнітних полів для сепарації і збагачення корисних копалин при освоєні їх родовищ, викликані, з одного боку, розвитком відповідних технологій і, з іншого боку, зростанням вимог до економічності процесів переробки.

Основними задачами представленого навчального посібника по дисципліні «Застосування електричних і магнітних полів у промисловому і сільськогосподарському виробництві»: частина 2 – «Технології, засновані на силовій дії електричних і магнітних полів» є:

1. Ознайомлення бакалаврів, інженерів, магістрів з можливостями нових електротехнологічних процесів, що пов'язані із застосуванням сильних електричних і магнітних полів в промисловому і сільськогосподарському виробництві;
2. Закладення основ знань електродинаміки дисперсних систем, необхідних для розуміння матеріалу, що викладається.
3. На основі наведених прикладів показати економічну, екологічну привабливість та ефективність електротехнологічних процесів.

Метою посібника є викладення основних закономірностей, властивостей і сучасних уявлень про фізичні і електрофізичні процеси при обезводненні і обезсоленні нафти і світлих нафтопродуктів; електричній і магнітній сепарації та збагаченні корисних копалин, а також переробці продукції сільськогосподарського виробництва. В навчальному посібнику розглядається міждисциплінарна область знань по застосуванню силової дії електричних і магнітних полів у технологіях промислового і сільськогосподарського виробництва.

Посібник орієнтований на студентів, що вивчають дисципліну «Застосування електричних і магнітних полів у промисловому і сільськогосподарському виробництві». Матеріал посібника є корисним також

для вивчення відповідних розділів і тем дисциплін «Екологія», «Прикладна екологія техніки високих напруг», «Установки і процеси електрофізичної технології», що вивчаються студентами напряму підготовки 6.050701 «Електротехніка і електротехнології» 7.05070104, 8.05070104 спеціальності «Техніка та електрофізика високих напруг». Посібник може бути корисним також магістрантам, аспірантам, науковим працівникам відповідних фахів, що поглиблено вивчають електрофізику природо охоронних технологій.

1. ОБЕЗВОДНЕННЯ НАФТОПРОДУКТІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПОЛІВ

1.1. Основні положення

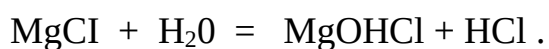
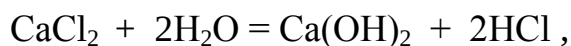
Відомо, що нафта, що добувається з надр землі, крім розчинених у ній газів, містить деяку кількість домішок – частки піску, глини, кристали солей і воду.

Вміст твердих часток в неочищеній нафті зазвичай не перевищує 1,5%, а кількість води може змінюватися в широких межах. У початковий період експлуатації родовища добувається безводна або малообводнена нафта, але зі збільшенням тривалості експлуатації родовища зростає обводнення нафтового пласта і вміст води в нафті, що добувається. У деяких старих свердловинах рідина, що отримується з пласта, містить 90% води і тільки 10% нафти.

Для перекачування ж по магістральних нафтопроводах приймають нафту, що містить не більше 1% води. У нафті, що поступає на переробку, повинно бути не більше 0,5 % води.

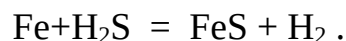
Розчинені у воді солі і такі, що знаходяться у вигляді кристалів в нафті, поведуться по-різному. Хлористий натрій майже не гідролізується. Хлористий кальцій у відповідних умовах може гідролізуватись в кількості до 10% з утворенням HCl. Хлористий магній гідролізується на 90%, причому гідроліз протікає і при низьких температурах. Тому солі можуть бути причиною корозії нафтових влаштувань.

Розчинені у воді хлориди Ca і Mg при температурах вище 160–180 °C піддаються дії гідролізу:

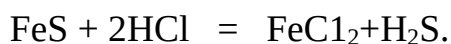


При перегонці нафти в результаті розкладання сірчистих з'єднань утворюється сірководень, який (особливо у поєднанні з хлористим воднем) являється причиною найбільш сильної корозії апаратури. Сірководень у

присутності води або при підвищених температурах реагує з металом апаратів, утворюючи сірчисте залізо:



Покриваюча поверхня металу, захисна плівка з FeS, частково оберігає метал від подальшої корозії, але за наявності хлористого водню захисна плівка руйнується, оскільки сірчисте залізо вступає в реакцію:



Хлористе залізо переходить у водний розчин, а сірководень, що звільняється знову реагує із залізом. Таким чином, при одночасній присутності в нафтах хлоридів металів і сірководню у вологому середовищі відбувається ланцюгова реакція роз'їдання металу.

Від основної кількості води і твердих часток нафту звільняють шляхом відстоювання в резервуарах, підігріванням, а остаточно зневоднюють і знесолюють застосуванням електричних полів.

На сучасних нафтопереробних заводах вважається цілком достатнім знесолювання нафти до вмісту хлоридів 3..5 міліграм/л і води до 0,1 % маси.

Чиста нафта, що не містить неуглеводних домішок, і прісна вода взаємно нерозчинні, і при відстоюванні ця суміш легко розшаровується. Проте за наявності в нафті таких домішок система нафта-вода утворює важко роздільну нафтову емульсію.

Емульсії є дисперсними системами з двох взаємно мало- або нерозчинних рідин, в яких одна диспергує в іншій у вигляді найдрібніших часток.

Промисловий процес обезводнення і знесолення нафти здійснюється в електродегідраторах. Принцип їх роботи полягає в пропусканні нафти через електричне поле, дія якого приводить молекули води в рух, за рахунок якого ці молекули стикаються з іншими молекулами води, внаслідок чого вони злипаються, і відбувається збільшення розміру часток. Із зростанням розміру водної частки вона осідає, внаслідок чого відбувається руйнування емульсії.

1.2. Основи обезводнення нафтопродуктів в електричному полі

При обезводненні сирової нафти і світлих нафтопродуктів застосовуються електронно-іонні технології. Забезпечення високої якості нафтопродуктів під час технологічного процесу обезводнення реалізується завдяки процесу максимально доступного виведення із них солі і води.

Виведення води із нафтопродукту може відбуватись в результаті створення направленого руху крапель води із об'єму нафтопродукту з використанням двох механізмів:

- седиментації крапель води завдяки гравітаційній силі, яка осаджує їх на дно резервуару;
- зарядження і організація руху часток води в електричному полі таким чином, щоб краплі води вийшли за межі об'єму нафтопродукту.

Під дією сил електричного поля краплі води можуть збиратись на електродах або спеціальних пористих перегородках і стікати на дно резервуарів.

Вода має більшу щільність, ніж нафта. Це сприяє видаленню води із нафти. В процесі відстоювання її краплі осідають на дно резервуару.

Ефективність процесу видалення води із об'єму нафтопродукту залежить від його в'язкості. В'язкість визначається температурою. Чим вища температура, тим менша в'язкість і більша швидкість осідання крапель.

Швидкість процесу седиментації також залежить від розміру крапель води: чим більше радіус краплі, тим вище швидкість її осідання.

Залежно від вмісту води в нафті розрізняють: глибоке обезводнення, надглибоке обезводнення і обезводнення нафти, що високообводнені.

1.2.1. Седиментація крапель води в нафтопродукті

Стала швидкість осідання крапель води в нафтопродукті визначається з умови рівності зовнішньої сили F , діючої на краплю, силі опору середовища руху краплі. Зовнішня сила, діюча на краплю, що знаходиться в нафтопродукті, дорівнює різниці між силою тяжіння і архімедівською силою (силою плавучості)

$$F_{ZH} = \frac{4}{3} \pi a^3 g \Delta \rho, \quad (1.1)$$

де a – радіус краплі, $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння, $\Delta \rho$ – різниця значень густини води і нафтопродукту ($\Delta \rho = \rho_v - \rho_n$).

Внаслідок великої в'язкості нафтопродукту і малих розмірів крапель води, їх осадження відбувається в межах стоксівського діапазону числа Рейнольдса ($Re \leq 0,5$), сила опору середовища визначається за формулою Стокса

$$F_c = 6\pi\mu_{ef}aV_c, \quad (1.2)$$

де V_c – швидкість седиментації (осадження); μ_{ef} – ефективна в'язкість середовища.

Ефективна в'язкість у формулі (1.2) частково відрізняється від в'язкості середовища (нафтопродукту) через те, що рух краплі відносно нафтопродукту викликає циркуляцію води в краплі, і це призводить до деякого зменшення опору середовища в порівнянні з рухом твердої сферичної частки.

Прирівнюючи (1.1) і (1.2), отримаємо вираз для швидкості седиментації

$$V_c = \frac{2}{9} \cdot \frac{a^2 g \Delta \rho}{\mu_{ef}}. \quad (1.3)$$

Таким чином, швидкість осадження крапель в нафтопродуктах росте пропорційно квадрату радіусу крапель.

1.2.2. Рух заряджених крапель в електричному полі в нафтопродукті

Швидкість руху крапель в електричному полі в нафтопродукті визначається з рівності сили, діючої в електричному полі на краплю, і сили опору середовища руху краплі.

Допустимо, що в нафтопродукті є присутні іони одного знаку. Тоді в електричному полі крапля набуває найбільший можливий заряд рівний

$$q_k = 12\pi\epsilon_0 a^2 E. \quad (1.4)$$

Відповідно, сила, діюча на краплю в електричному полі, буде рівна

$$F_e = q_k E = 12\pi\epsilon_0 a^2 E^2. \quad (1.5)$$

Прирівнюючи (1.5) силі опору середовища по (1.2) отримаємо формулу для швидкості руху крапель в електричному полі:

$$V_E = \frac{2\epsilon_0 a E^2}{\mu_{ef}}. \quad (1.6)$$

Зіставимо швидкість руху крапель під дією електричного поля і в результаті седиментації. Відношення значень швидкості по (1.6) і (1.3) записується у вигляді:

$$\frac{V_E}{V_c} = \frac{9\epsilon_0 E^2}{ga\Delta\rho}. \quad (1.7)$$

За існуючими даними час відстою для частинок радіусом менше 100 мкм перевищує 1 годину, що приймається гранично доцільним. Для частинок менше 100 мкм рух в електричному полі розглядається як прийнятніший механізм видалення крапель води з об'єму нафтопродукту.

1.2.3. Процеси укрупнення крапель води

Процеси укрупнення крапель води в нафтопродукті відіграють дуже важливу роль, оскільки призводять до істотного зростання швидкості седиментації. Процес злиття крапель води, або коалесценція, може

відбуватися в результаті зіткнення часток різного розміру при седиментації, при взаємодії поляризованих часток в електричному полі або при зіткненні часток, що беруть участь в турболізованому русі середовища.

Число зіткнень при седиментації росте при збільшенні відносної швидкості зближення часток. Як витікає з (1.3)

$$V_{\text{від}} \equiv a_1^2 - a_2^2,$$

де a_1 і a_2 – відповідно радіуси взаємодіючих часток.

Таким чином, ефективність коалесценції росте із збільшенням радіусу часток при одночасному збільшенні відмінності в їх розмірі.

На процес злиття крапель води при зіткненні чинить вплив шар нафтопродукту, який перешкоджає цьому злиттю.

Руйнування тонкого шару нафтопродукту на поверхні краплі забезпечується дією хімічних речовин – деемульгаторів. Дія деемульгатора призводить до зменшення поверхневого натягу і, таким чином, полегшує злиття крапель.

Основним недоліком процесу видалення вологи за рахунок седиментації є:

1. Довга тривалість процесу седиментації.
2. Необхідність наявності великих об'ємів нафти в спеціальних відстійниках.

Плівка на поверхні крапель активно руйнується при взаємодії крапель в електричному полі. Процес злиття крапель відбувається таким чином.

Краплі, потрапляючи в електричне поле, поляризуються, і їх форма наближається до еліпсоїдної (рисунок 1.1). Зіткнення і злиття крапель відбувається за рахунок кулонівської взаємодії протилежних по знаку поляризаційних зарядів часток, що виявилися поблизу одна від одної. З електростатики відомо, що заряд поляризації $q_{\text{п}} \equiv E a^2$. Отже, сила взаємодії, що визначає зближення і злиття крапель $F_{\text{ез}} = q_{\text{п}} E \equiv a^2 E^2$.

Таким чином, ефективність коалесценції крапель в електричному полі істотно росте із збільшенням розміру часток і напруженості поля.

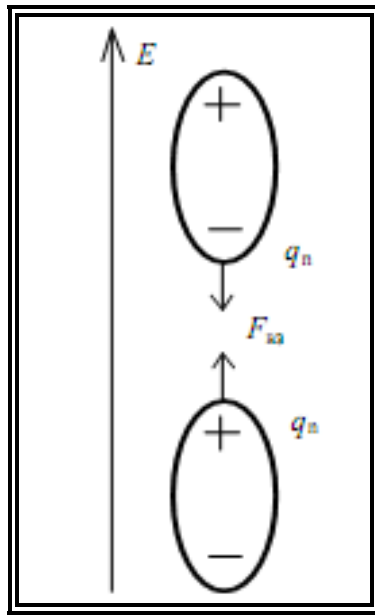


Рисунок 1.1– Поляризація взаємодіючих крапель в електричному полі

Таким чином, ефективність коалесценції крапель в електричному полі істотно росте із збільшенням розміру часток і напруженості поля.

Проте деформація крапель в електричному полі може призвести до зворотнього процесу по відношенню до коалесценції – розриву крапель. Це відбувається, коли дія поля на поляризаційні заряди перевищує дію сил поверхневого натягнення, що перешкоджають розриву крапель.

Таким чином, якщо $F_{розр} \equiv a^2 E^2$ і $F_{пов} \equiv \sigma a$, де σ – коефіцієнт поверхневого натягу на межі розділу середовищ вода - нафта ($\sigma \approx 20 \cdot 10^{-3}$ Н/м), то з умови $F_{розр} = F_{пов}$ виходить, що

$$E_{кр} \equiv \sqrt{\frac{\sigma}{a}} \quad \text{або} \quad a_{кр} \equiv E_{кр}^{-2} \quad (1.8)$$

На рисунку 1.2 показана залежність критичної напруженості електричного поля від розміру крапель. В області, що знаходиться нижче за цю криву, переважає коалесценція крапель води. Область, що лежить вище за криву, відповідає розриву крапель води під дією сил поляризації.

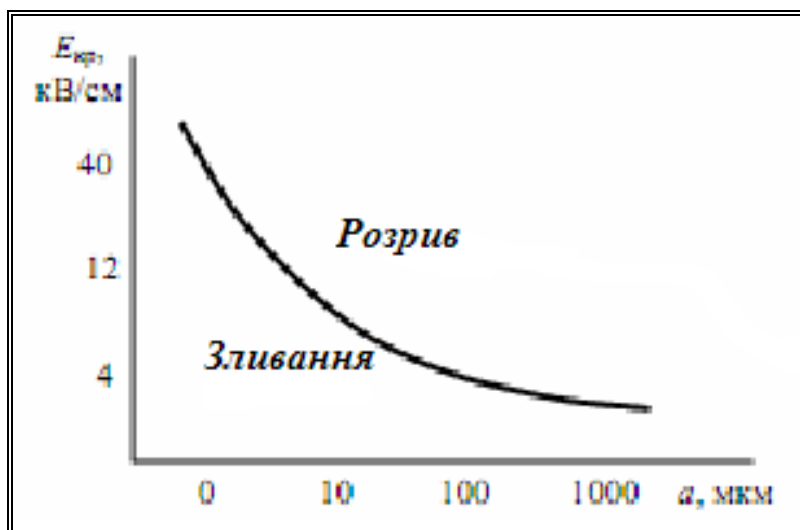


Рисунок 1.2 – Залежність критичної напруженості поля від радіусу краплі

1.2.4. Зарядження крапель води в нафтопродукті

Процес видалення крапель з нафтопродукту під дією електричного поля визначається величиною заряду крапель. Для судження про можливий механізм зарядження крапель води в нафтопродукті розглянемо іонний склад нафтопродуктів.

Під впливом сильних електричних полів в діелектричних рідинах, нафті і нафтопродуктах, починається процес дисоціації – утворення позитивних і негативних іонів. Електричне поле примушує рухатися різнойменно заряджені іони в об'ємі рідини. В результаті біля електродів створюються області з надмірним вмістом іонів одного знаку. Із зростанням концентрації іонів в об'ємі збільшується вірогідність зіткнень різнойменно заряджених часток, що супроводжуються рекомбінацією. Встановлюється динамічна рівновага між іонами, що утворюються і рекомбінуючими.

Рух іонів в нафті, яка має набагато більшу в'язкість, ніж вода, викликає рух рідини і утворення в її об'ємі електрогідродинамічних потоків. Це відбувається тому, що рух іонів у в'язкій рідині передається нейтральним часткам, а це, в свою чергу, призводить до інтенсивного перемішування рідини, збільшуючи інтенсивність взаємодії крапель.

Вода і нафтопродукти характеризуються наступними значеннями відносної діелектричної проникності ε , питомої провідності γ і коефіцієнта динамічній в'язкості μ (див. таблицю 1.1). Краплі в нафтопродукті можуть набувати заряд по контактному механізму або в результаті осадження іонів в електричному полі в об'ємі нафтопродукту.

Таблиця 1.1

Речовина	ε	γ , 1/Ом·м	μ , кг/м·с
1. Вода	$\varepsilon \cong 80$	$\gamma \cong 10^{-2} \div 10^{-4}$	$\mu = 10^{-3}$
2. Сира нафта	$\varepsilon \cong 4 \div 5$	$\gamma \cong 10^{-6} \div 10^{-9}$	$\mu = (1 \div 10) 10^{-2}$
3. Світлі нафтопродукти	$\varepsilon \cong 2,2$	$\gamma \cong 10^{-10} \div 10^{-12}$	$\mu = (1 \div 10) 10^{-2}$

Крапля води при контакті з електродами в електричному полі набуває заряд, співпадаючий по знаку з полярністю електроду. Як тільки крапля відірветься від електроду, заряд з неї починає стікати завдяки провідності нафти. Постійна часу стікання заряду має оцінкове значення

$$\tau = \frac{\varepsilon \varepsilon_0}{\gamma}.$$

1.3. Технології обезводнення нафтопродуктів

1.3.1. Глибоке обезводнення нафтопродуктів

При вмісті води $W_{\text{води}} > 0,1 \%$ відстань між краплями порівнянна з їх розмірами ($a \approx 1 \div 100$ мкм), а при вмісті води $W_{\text{води}} < 0,05 \%$ відстань між краплями більше і більше питомий електричний опір емульсії .

Під глибоким обезводненням розуміється зміна концентрації води від початкового значення з $W_{\text{води}} \geq 0,1 \%$ до кінцевого з $W_{\text{води}} \leq 0,05 \%$. Це відповідає діапазону концентрацій емульгованої води в сирій нафті. Для глибокого обезводнення нафти прийнятний спосіб коалесценції в електричному полі .

Як було показано раніше, чим вище напруженість електричного поля, тим ефективніший процес коалесценції. Проте для дуже великих крапель в сильних полях проявляється зворотній ефект, при якому крапля поляризується, розтягується уздовж ліній поля і розривається. Залежність критичної напруженості поля, при якій можливий процес її розриву, від розміру краплі представлена на рисунку 1.2.

Для укрупнення крапель вище критичного розміру при робочій напруженості поля застосовується спеціальне ступінчасте живлення установки (рисунок 1.3).

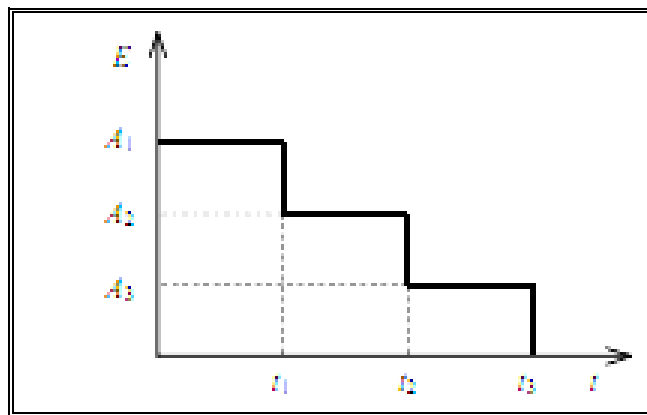


Рисунок 1.3 – Ступінчасте електроживлення установки обезводнення нафти

На інтервалі часу від 0 до t_1 відбувається укрупнення крапель до a_{kp1} , потім напруженість поля знижується і на інтервалі часу від t_1 до t_2 крапля ще укрупнюється до a_{kp2} і так далі, поки не буде досягнутий розмір крапель, необхідний для швидкої седиментації.

Додатково до описаного механізму працює ще механізм злиття різнойменно заряджених крапель при їх русі в проміжку (рисунок 1.4).

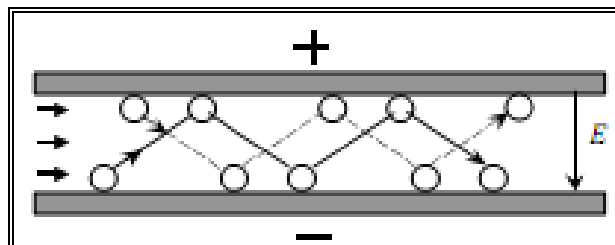


Рисунок 1.4. Механізм злиття різнойменно заряджених крапель

Краплі, досягаючи поверхні електроду, заряджаються по індукційному

механізму і, відриваючись від поверхні електроду, рухаються углиб проміжку. Якщо відстані між електродами невеликі, то краплі не встигають повністю втратити свій заряд за рахунок витоку. Злиття різнойменно заряджених часток відбувається у разі їх зіткнення.

1.3.2. Надглибоке обезводнення

Під надглибоким обезводненням розуміється зміна концентрації води від початкового значення з $W_{\text{води}} \leq 0,05 \%$ до кінцевого $W_{\text{води}} = 0$. Це відповідає діапазону концентрацій емульгованої води у світлих нафтопродуктах (бензин, гас, трансформаторне масло).

Використовуване традиційно механічне очищення за допомогою фільтрів має цілий ряд недоліків :

- потрібна регулярна регенерація або періодична заміна фільтрів;
- проходячи через фільтр паливо додатково електризується.

Принципова схема установки для надглибокого обезводнення світлих нафтопродуктів представлена на рисунку 1.5.

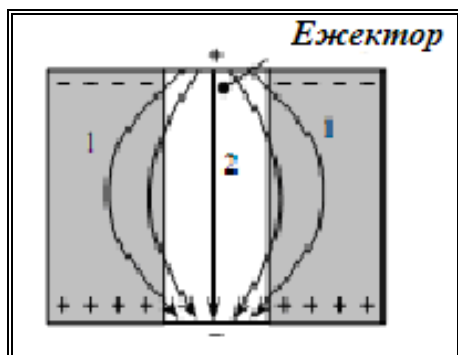


Рисунок 1.5 – Принципова схема установки для надглибокого обезводнення нафтопродуктів :

- 1 – пористий діелектрик,
2 – вільний простір .

Робочий простір апарату частково заповнений пористим діелектриком, який має сильно розвинену поверхню і перешкоджає інтенсивному перемішуванню емульсії в процесі роботи. Нафтопродукт поступає у вільний простір апарату через тонку вхідну щілину, де відбувається контактна зарядка крапель води. Таким чином, емульсія поступає в камеру апарату вже зарядженою. У вільному об'ємі камери відбувається інтенсивне

перемішування емульсії за рахунок електрогідродинамічних потоків, що виникають під дією електричного поля. Заряджені крапельки води, рухаючись по силовим лініям поля, потрапляють на поверхню діелектрика і прилипають до неї. Нові краплі, що прийшли з потоком, зливаються з першими. На поверхні діелектрика йде процес укрупнення прилиплих крапель. Як тільки крапля зростає до великих розмірів, вона відривається і стікає в нижню частину камери.

Основними перевагами цієї технології є:

- відсутність динамічного опору потоку нафтопродуктів у вільному просторі камери;
- простота управління технологічним процесом, оскільки інтенсивність процесу залежить від значення прикладеної напруги і від в'язкості нафтопродукту.

Нині створені установки для обезводнення гасу при заправці літаків з продуктивністю до 2 т/хв.

1.3.3. Обезводнення високообводнених нафт і аномально стійких емульсій

Є нафти, в яких вода складає до 60 %. Такі нафти містять краплі води, покриті нафтовою оболонкою, що не дає цим краплям зливатися.

Процес укрупнення краплі води може бути здійснений шляхом хімічних добавок, що руйнують нафтову оболонку крапель і що дозволяє краплям зливатися.

Другим способом, який є прийнятніше, являється організація коалесценції крапель води в електричному полі. Необхідно забезпечити, щоб при цьому не виникало короткого замикання між електродами, яке можливе із-за високої провідності високообводненої нафти і наявності великої кількості крапель. Існує декілька способів усунення короткого замикання :

- на електродах створити діелектричне покриття;
- забезпечити газовий проміжок, біля електроду;

- створити вихровий рух рідини, який перешкоджає утворенню ланцюжків з крапель;
- використовувати певні джерела високої напруги, які запобігають виникненню коротких замикань.

Використання діелектричного покриття

Цей спосіб реалізується шляхом нанесення діелектричного покриття на високовольтний електрод (рисунок 1.6).

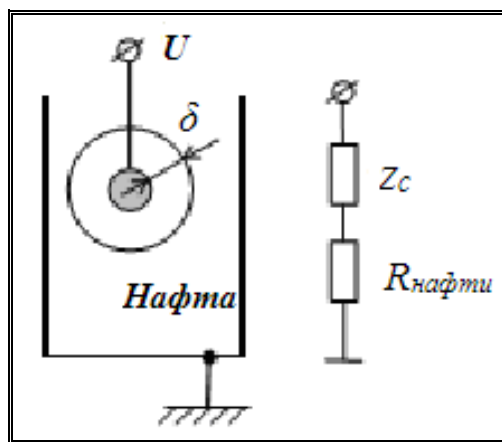


Рисунок 1.6 – До способу обезводнення високообводненої нафти (еквівалентна схема)

При виникненні провідних каналів в нафті, напруга прикладається до діелектричного шару і короткого замикання не відбувається. У нормальному режимі напруга розподіляється між шаром і нафтою.

Еквівалентна схема представляється у вигляді послідовного з'єднання двох опорів Z_c і $R_{нафти}$:

де

$$Z_c = \frac{1}{\omega \cdot C} \equiv \frac{\delta}{f \cdot \varepsilon};$$

δ – товщина діелектричного покриття, f – частота живлячої напруги, ε – діелектрична проникність діелектрика, $R_{нафти}$ – еквівалентний опір нафти.

Для того, щоб шар нафти перебував під впливом електричного поля необхідно, щоб на діелектричному покритті не виникало велике падіння

напруги. Це досягається шляхом збільшення частоти f живлячої напруги або шляхом збільшення ε .

Високовольтні джерела високої частоти мають високу вартість. Крім того, зі зростанням частоти напруги зменшується інтенсивність електрогидравлічних потоків через те, що не створюватиметься надмірних електричних зарядів, які є джерелами цих потоків. В результаті інтенсивність злиття крапель падає.

Кращим рішенням виявилось застосування діелектричного покриття з кераміки з високим значенням ε .

Застосування газового проміжку

Застосування газового проміжку ілюструється на рисунку 1.7. При подачі високої напруги на коронуючі електроди в газовому середовищі над поверхнею нафти утворюється коронний розряд. Рух носіїв зарядів в нафті викликає появу потоків в шарі рідини. В результаті виникає інтенсивне перемішування і взаємодія крапель, що призводить до їх злиття.

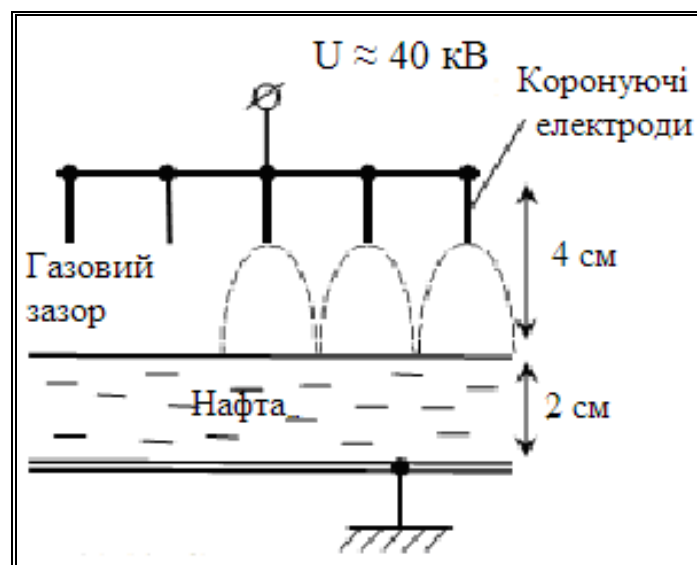


Рисунок 1.7 – Схема процесу з повітряним проміжком між поверхнею рідини і електродами

Спеціальні джерела високої напруги

По залізницях нафту перевозять в цистернах. Після зливу нафти цистерни миють водою. В результаті утворюється вода, забруднена нафтою. Виникає завдання відокремити воду від нафти і використати її повторно, а нафту за призначенням. Для вирішення цього завдання застосовують джерела імпульсів високої напруги спеціальної форми (рисунок 1.8).

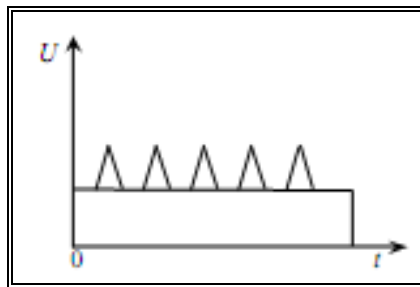


Рисунок 1.8 – Форма напруги живлення

Високовольтне джерело для апарату відділення води від нафти виробляє імпульсну напругу, яка використовується для руйнування нафтових оболонок на краплях води. Тривала постійна напруга забезпечує злиття крапель води.

1.4. Конструкції промислових технологічних установок для знесолювання і обезводнення нафти і нафтопродуктів

1.4.1. Загальна характеристика

Електричне знесолювання і обезводнення нафти, широко поширене в заводській практиці, рідше застосовується на нафтопромислах. Можливість застосування електричного способу у поєднанні з іншими способами (термічним, хімічним) можна віднести до однієї з основних його переваг.

Електричні апарати, в яких здійснюється дія електричного поля на емульсії, називаються електродегідраторами. Перед подачею нафти в електродегідратори вона заздалегідь зневоднюється термохімічним способом до певного значення вмісту води, щоб виключити коротке замикання в електродегідраторі.

Розглянуті вище в підрозділі 1.2 способи виведення води з нафти і нафтопродуктів реалізовані в конструкціях технологічних апаратів знесолювання і обезводнення (рисунок 1.9). Розглянемо схему процесу знесолювання і обезводнення сирої нафти на нафтоперегінному заводі (НПЗ), показану на рисунку 1.10.



Рисунок 1.9 – Загальний вигляд конструкцій технологічних апаратів знесолювання і обезводнення на НПЗ

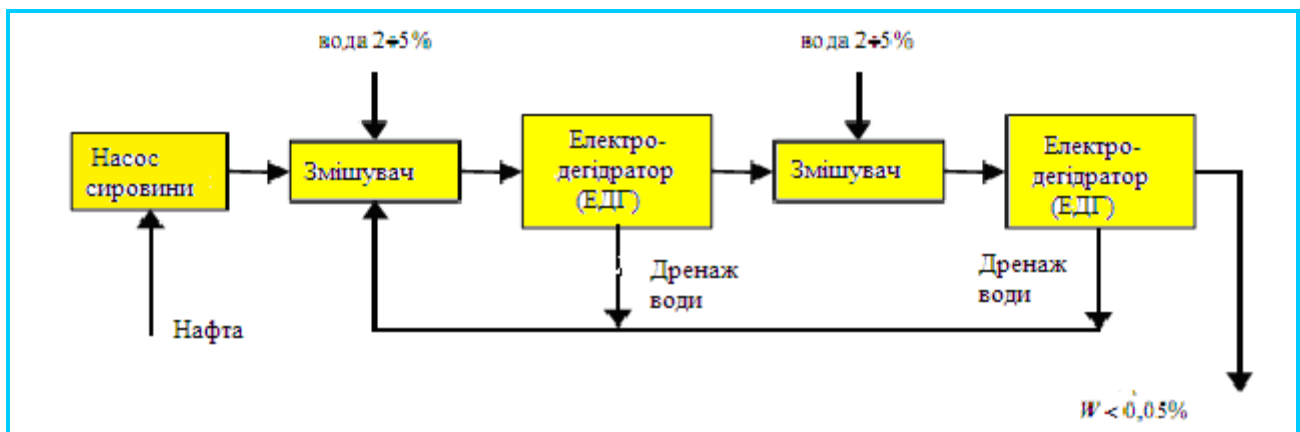


Рисунок 1.10 – Схема обезводнення і знесолювання на НПЗ

Насос сировини подає нафту в змішувач, де відбувається активне вихрове змішування нафти з прісною водою, що додається у кількості $2 \div 5$ % по відношенню до нафти. Прісна вода активно розчиняє солі, виводячи їх з нафти. Водно-нафтова емульсія поступає потім в електродегідратор – апарат по обезводненню нафти. У цьому апараті відбувається виділення води з суміші і отримання знесоленої нафти. Потім ці операції повторюються в другому ступені технологічного процесу. У результаті на виході установки виходить знесолена нафта з вмістом води $W_{\text{води}} < 0,05$ % і солей $P < 20$ міліграм/л.

Механізм дії електродегідраторів показаний на рисунку 1.4. Електродегідратори представляють зі себе резервуари з розміщеними всередині системами електродів.

Електродегідратори класифікуються за наступними основними ознаками:

- по застосуванню електричних полів – постійного і змінного струму;
- за способом введення нафти в – електродегідратори – в нижню частину апарату чи безпосередньо в міжелектродний простір;
- по кількості введення нафтової емульсії в апарат – один, декілька;
- по конструктивному оформленню – горизонтальні, вертикальні, сферичні.

Розрізняються три типи конструктивних рішень резервуарів, що мають різні технологічні параметри (рисунок 1.11.):

1. ЕДГ кульової конструкції $V = 600 \text{ м}^3$, $P = 6 \div 7$ атм;
2. ЕДГ циліндричного вертикального типу $V = 30 \text{ м}^3$, $P = 16$ атм;
3. ЕДГ циліндричного горизонтального типу $V = 160 \text{ м}^3$, $P = 16$ атм.

Робота електродегідраторів відбувається таким чином. Робоча зона створюється між заземленим електродом і електродом, на який подається висока напруга. У цій зоні краплі води набувають заряди і, стикаючись між собою, зливаються і збільшуються в розмірах. Великі краплі випадають на дно, утворюючи шар води, який видаляється по відповідних трубах. Продукт для очищення – нафтова емульсія – подається по трубах, що знаходяться біля дна

апарату. Таким чином, шар нафти для очищення від води рухається вгору, потрапляє в активну зону, очищається там від води, і очищена нафта скупчується у верхній частині резервуару. Звідси вона поступає для подальшої обробки.

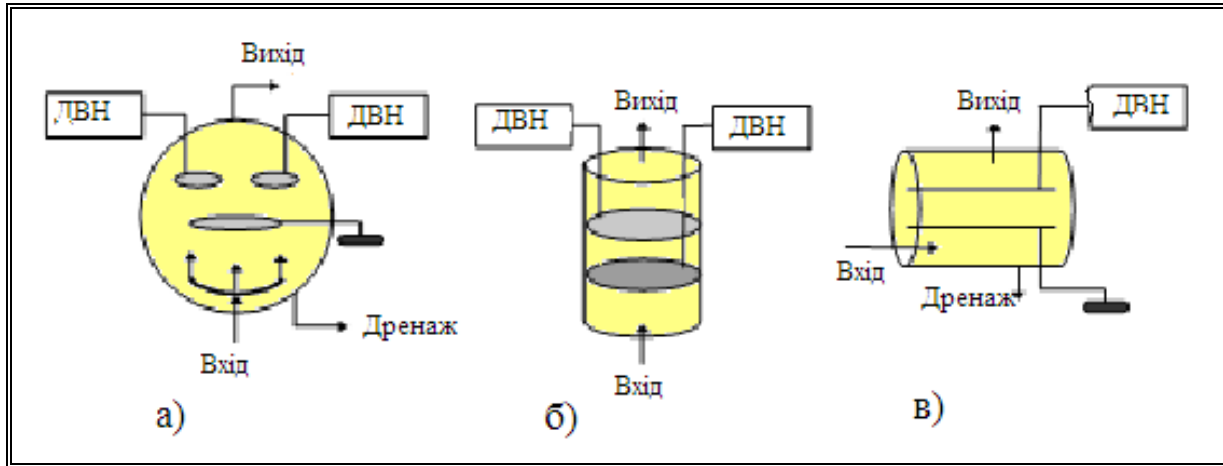


Рисунок 1.11 – Спрощені конструкції електродегідраторів :

- а) кульової конструкції;
- б) вертикального типу;
- в) горизонтального типу

Кульові резервуари мають значний недолік, що полягає в тому, що у них є зони, в яких відсутнє електричне поле. Ці зони знижують продуктивність апарату обезводнення нафти.

Також використовуються циліндричні резервуари вертикального і горизонтального типу, в яких немає практично зон без електричного поля.

Горизонтальні апарати мають більший об'єм і велику продуктивність, оскільки завдяки більшому горизонтальному перерізу апарат має велику робочу площу електродів, в цьому апараті встановлюється менша вертикальна швидкість нафти в зоні дії електричного поля.

Електродна система представляє собою набір металевих прутків діаметром 2,5 мм при відстані між ними 20 см. Прутки збираються у вигляді двох плоских рам, розташованих в двох паралельних площинах з відстанню між площинами 15÷20 см. Прутки в кожній рамі розташовані паралельно один одному, на сусідніх рамах – компланарно (рисунок 1.12) .

Вимоги, що пред'являються до електродегідраторів, полягають в наступному:

1. Електродегідратор не повинен мати неробочих зон.
2. Електродні системи повинні створювати електричні поля заданої величини з рівномірним розподілом потенціалу.
3. Електродні системи і технологічний режим мають бути організовані так, щоб не давати можливості краплям води створювати замикаючі електроди ланцюжки.

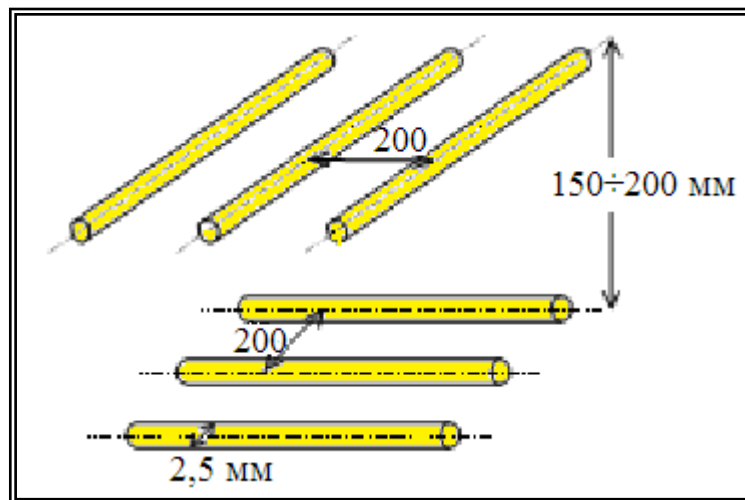


Рисунок 1.12 – Електродна система електродегідраторів

1.4.2. Кульові електродегідратори

Кульові електродегідратори (рисунок 1.13) здатні акумулювати більшу кількість матеріалу, що переробляється, але не можуть використовуватись при високих тисках і температурах. Їх рідко можна зустріти в прайс-листах виробників, оскільки вони на даний момент найменш поширені. Їх основна відмінна риса - сферична конструкція з опорами, наявність трьох впускних труб для сировини і наявність трьох пар електродів, напруга до яких подається від трансформаторів, розташованих на зовнішньому майданчику (верхня частина конструкції). Сира нафта поступає в кульовий електродегідратор по трубах, розташованих внизу конструкції, потім нафта через розподільні голівки на кінцях труб подається в область електричного поля. Відокремлена вода виходить через нижній штуцер конструкції, а зневоднена нафта – через штуцер, розташований зверху.

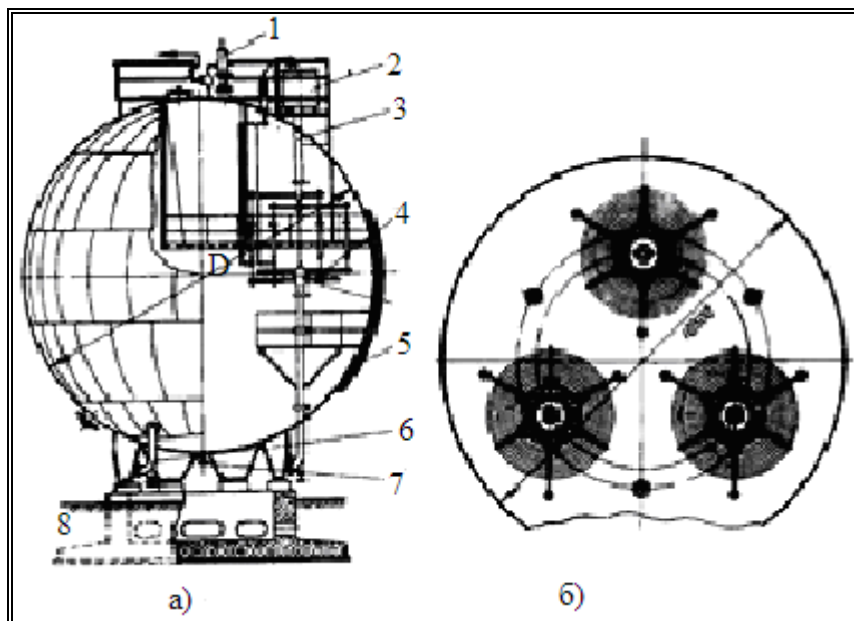


Рисунок 1.13 - Кульовий електродегідратор (а) і його горизонтальний розріз по екватору (б) : 1 - виведення знесоленої нафти; 2 - трансформатор; 3 - пристрій для регулювання відстані між електродами; 4 - електроди; 5 - розподільна голівка; 6 – теплоізоляція; 7 - введення сирої нафти; 8 - дренажний штуцер

1.4.3. Вертикальні електродегідратори

Основні відмінні риси вертикального електродегідратора (рисунок 1.14) – висока напруженість неоднорідного електричного поля усередині конструкції і розташування електродів (один навпроти одного заземлених внизу і високопотенціальних вгорі), що дозволяє реалізувати процес відділення навіть в дуже стійких емульсіях. Сам же апарат є конструкцією циліндричної форми. По продуктивності вертикальний електродегідратор поступається горизонтальному і кульовому, а також може застосовуватися тільки при невисоких тисках і температурах .

Сировина в електродегідратор вводиться через встановлену по вісі апарату вертикальну трубу, яка закінчується в зоні між електродами розподільною голівкою 15, що забезпечує введення в міжелектродний простір емульсії у вигляді тонкого віялоподібного горизонтального струменя.

У цьому типі конструкцій сировина вводиться в резервуар через розташовану в центрі трубу, а потім, піднімаючись вгору, проходить через розподільник. Відокремлена вода з розчиненими в ній солями безперервним

поток виходить із спускового патрубку, розташованого в нижній частині електродегідратора. Знесолена і зневоднена нафта виходить через верхні штуцери, звідки вже поступає в резервуари для зберігання.

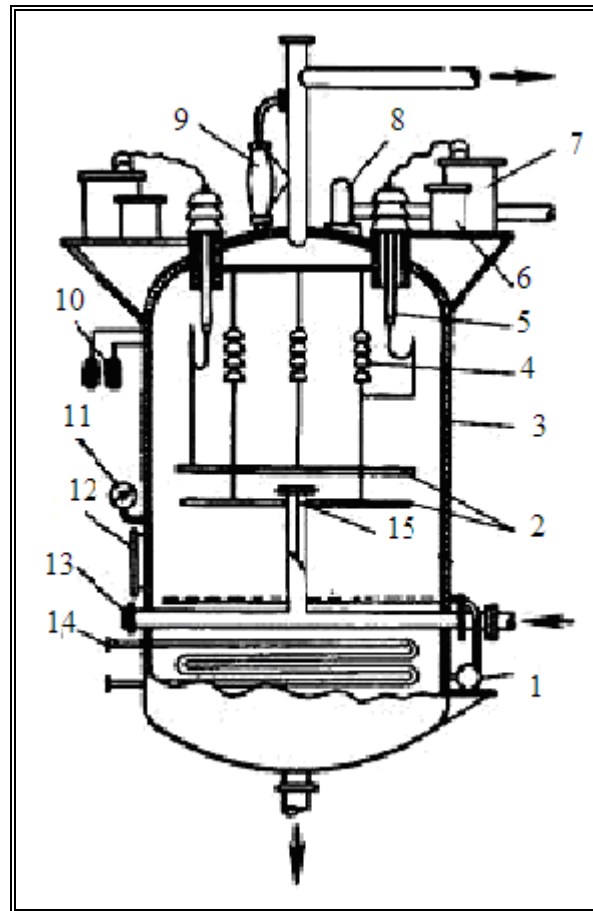


Рисунок 1.14 - Вертикальний електродегідратор: 1 - шламовий насос; 2 – електрод; 3 – корпус; 4 - підвісний ізолятор; 5 - прохідні ізолятори; 6 - реактивні котушки; 7 – трансформатори; 8 - запобіжний клапан; 9 - поплавковий вимикач; 10 - сигнальні лампи; 11 – манометр; 12 - мірне скло; 13 - тяга для регулювання зазору в розподільній головці, 14 – змійовик; 15 – розподільна головка

1.4.4. Горизонтальні електродегідратори

Горизонтальні електродегідратори найбільш поширені, що обумовлено їх високою продуктивністю, здатністю працювати при високих тисках і температурах, меншою вартістю при експлуатації.

У верхній частині апарату розташовані рами із заземленими і високопотенціальними електродами. Емульсія, проходячи через сітку електродів, спершу потрапляє в електричне поле низької напруженості, а потім – високої. В полі високої напруги здійснюється остаточне відділення

найдрібніших крапель води від нафти. Осадження більших крапель відбувається ще до того, як сировина потрапляє в електричне поле високої напруги. Вода виводиться через штуцер, розташований внизу електродегідратора, а очищена нафта виводиться через штуцери, розташовані у верхній частині апарату.

На рисунках 1.15 і 1.16 представлено горизонтальні електродегідратори. У корпусі 1 апарату розміщені електроди (верхній 3 і нижній 4), які закріплені на ізоляторах 2, розподільник 10 нафти, збірка 8 солоної води, дві збірки 5 знесоленої нафти і промивний колектор 9. На корпусі електродегідратора змонтовані трансформатор 6 і прохідний ізолятор високої напруги 7.

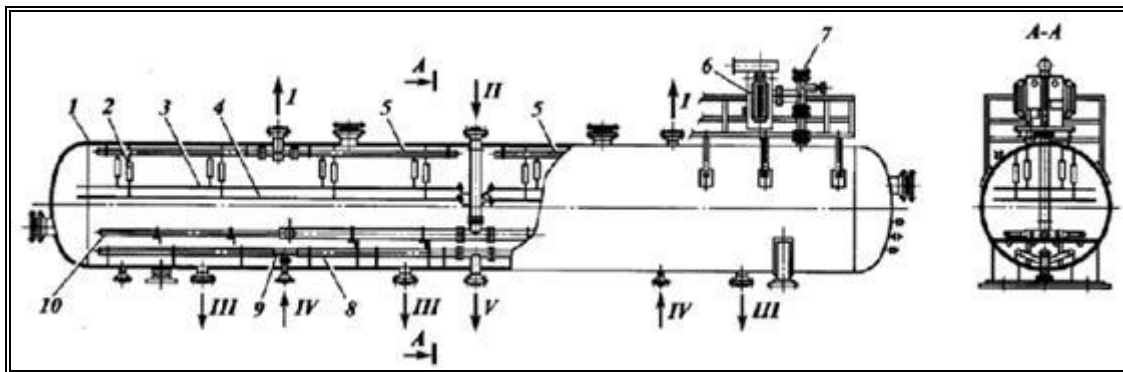


Рисунок 1.15 - Горизонтальный электродегидратор: 1 – корпус; 2 – ізолятор; 3 - верхній електрод; 4 - нижній електрод; 5 - збірка обезсоленої нафти; 6 – трансформатор; 7 - ввід високої напруги; 8 - збірка солоної води; 9 - промивний колектор; 10 - розподільник нафти; I - відвід обезсоленої нафти; II - введення нафти; III - відвід шламу; IV - введення води на промивку апарату; V - відвід дренажної води



Рисунок 1.16 – Загальний вигляд горизонтального електродегідратора

Дрібнодисперсна водонафтова емульсія поступає в апарат, промивається в дренажному шарі води і далі рухається до поверхні розділу фаз (вода-нафта). Нафта, вводиться всередину розподільника 10, рівномірно розподіляється по всьому перерізу апарату і після промивання в шарі води, рівень якої підтримується автоматично вище за розподільник на 200 .. 300 мм, рухається вертикально вгору. При цьому вона спочатку обробляється в слабкому електричному полі в об'ємі між рівнем розділу фаз нафта-вода і площиною нижнього електроду, а потім в сильному електричному полі між електродами, після чого збирається збірками знесоленої нафти 5 і виводиться з апарату. Різниця в напруженості електричного поля дозволяє забезпечити виділення з емульсії спочатку великих глобул води і розвантажити таким чином зону між електродами для виконання складнішого завдання відділення дрібних крапель води.

Великі краплі води, які відокремилися, осідають і дренуються з апарату, а нафтова емульсія, що включає дисперсні мікрочастки води, поступає в зону електричного поля, яке посилюється від рівня розділу фаз у напрямі електродів.

У міжелектродній зоні під спільною дією електричного поля високої напруженості, температури і деемульгаторів нафтова емульсія руйнується. Відбувається інтенсифікація процесу коалесценції крапель води, їх гравітаційне осадження і відстоювання. Виділена вода з розчиненими в ній солями дренується з апарату, а очищена від солей і води нафта прямує на переробку. Солоната вода збирається в нижній частині електродегідратора збіркою 8 і виводиться з апарату. Для промивання апарату без його розкриття передбачений промивний колектор 9, отвори якого направляють струмені води на стінки корпусу. Живлення електродів здійснюється від зведеного трансформатора.

Для забезпечення обезводнення і знесолювання як легких, так і важких нафт розроблені електродегідратори з двома розподільними системами введення нафти (рисунк 1.17). Для цього в корпусі апарату встановлений додатковий розподільник нафти із стійками, що забезпечує введення частини

нафти, безпосередньо в міжелектродний простір, де особливо ефективно руйнуються стійкі і важкі по щільності нафтові емульсії.

Введення частини нафти безпосередньо в міжелектродний простір істотно підвищує стійкість електричного режиму і, отже, режиму обезводнення і знесолювання нафти в промислових умовах. При цьому також зменшується кількість промивної води, що робить апарат універсальним і досить ефективним.

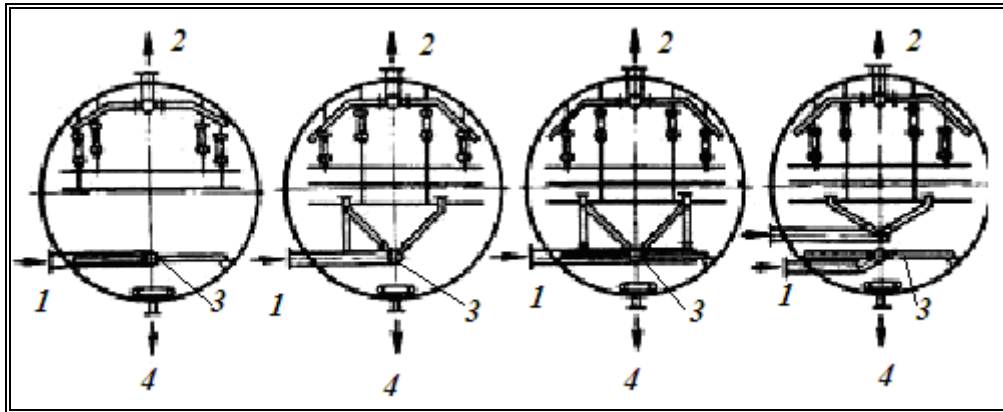


Рисунок 1.17 – Горизонтальні електродегідратори з різними видами розподільників нафти:

- 1 – введення нафти,
- 2 – відвід обезсоленої нафти,
- 3 – розподільник нафти,
- 4 – відвід дренажної води.

1.4.5. Електрокоалесцер

Електрокоалесцери відрізняються від звичайних електродегідраторів компактністю, а також вищою безпекою і надійністю в роботі.

На рисунку 1.18 показаний електрокоалесцер з електричним полем, що чергується. В електрокоалесцері чергування імпульсів і пауз дії електричного поля високої напруженості частотою 50 Гц на емульсію створюється за рахунок руху потоку емульсії між циліндричними коаксіальними електродами, зовнішнім з яких є заземлений корпус 2, а внутрішнім – сполучений з трансформатором електрод 3, на якому встановлені діелектричні кільця 1. Напруженість поля в області кілець з діелектричного матеріалу значно менше, чим відкритих ділянок електроду 3, тому при русі емульсії в осьовому напрямі вона по черзі потрапляє в зони різної напруженості поля. В результаті цього

відбувається чергування процесів коалесценції крапель електроліт, формування в сильному полі ланцюжків агломерованих крапель у напрямі силових ліній електричного поля (радіальному напрямі) і руйнування цих ланцюжків під дією гідродинамічних сил в слабкому полі проти кілець.

Чергування цих процесів в апараті приводить до ефективного руйнування стійких емульсій на стадії обезводнення і ефективної коалесценції крапель води, як пласту, так і промивальної, на стадії знесолювання. Висота діелектричних кілець і проміжків між ними залежить від швидкості руху нафтопродукту, його властивостей і напруженості електричного поля. Для кожного технологічного процесу проводиться підбір оптимального співвідношення висоти кілець і відстані між ними.

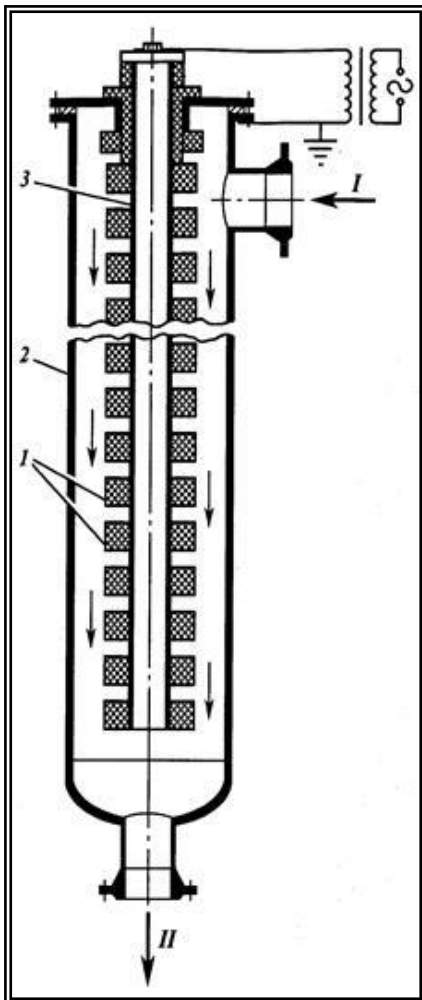


Рисунок 1.18 - Електрокоалесцер з електричним полем, що чергується:

- 1 - діелектричні кільця,
- 2 - корпус (зовнішній електрод),
- 3 - внутрішній електрод,
- I - початкова емульсія,
- II - відведення у відстійник обробленої емульсії

Контрольні питання та завдання

1. Охарактеризуйте особливості складу нафти, що добувається з надр землі.
2. В чому полягають причини корозії в нафтових влаштуваннях ?
3. Розкрийте особливості промислових процесів обезводнення і знесолення нафти.
4. Розкрийте електрофізичні особливості обезводнення нафтопродуктів в електричному полі.
5. Поясніть механізм седиментації крапель води в гравітаційному і електричному полі.
6. Рух заряджених крапель води в електричному полі в нафтопродукті.
7. Залежність критичної напруженості електричного поля від радіусу крапель.
8. Особливості зарядження крапель води в нафтопродукті.
9. Глибоке обезводнення нафтопродуктів в електричному полі.
10. Надглибоке обезводнення нафтопродуктів в електричному полі.
11. Особливості обезводнення високообводнених нафт і аномально стійких емульсій в електричному полі.
12. За якими ознаками класифікуються електродегідратори ?

2. ЕЛЕКТРОСЕПАРАТОРИ

2.1. Загальні положення

Електричне поле в наступному викладі будемо розглядати як простір, в якому проявляється дія електричних сил на заряджені частинки .

Електричне поле може мати різну конфігурацію (рисунок 2.1).

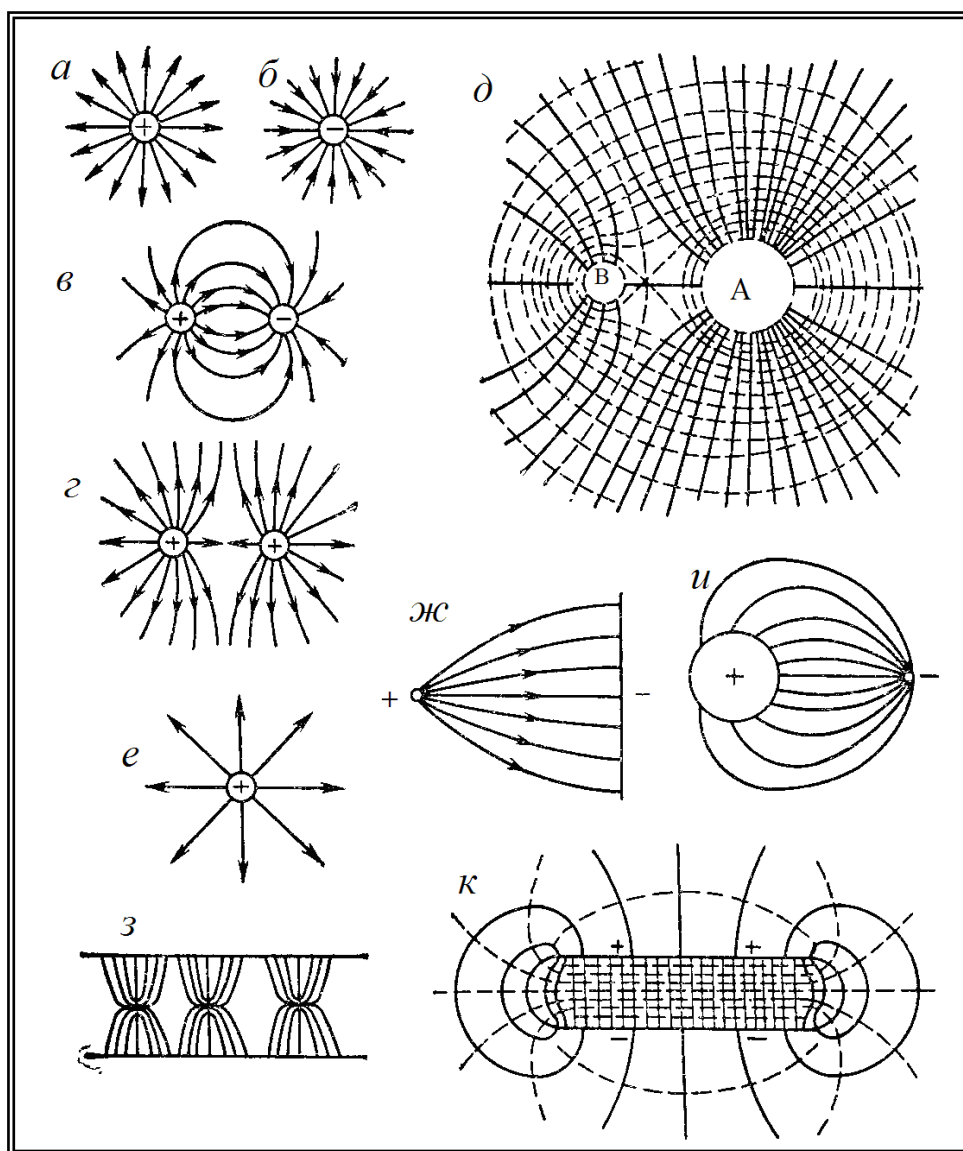


Рисунок 2.1– Різні конфігурації електричних полів :

а і б – точкових позитивного і від'ємного зарядів; *в* – двох різноіменних, рівних по абсолютній величині точкових зарядів; *г* – двох рівних одноіменних точкових зарядів;
д – двох одноіменно заряджених провідних куль (заряд *А* в чотири рази більший від заряду *В*);
е – навколо відокремленої зарядженої кулі; *ж* – між дротом і паралельною площиною;
з – між дротами і паралельними пластинами; *и* – між дротом і циліндром; *к* – двох різноіменно заряджених пластин

На незаряджені частинки електричне поле ніякої дії не чинить.

Способи зарядження частинок в основному визначаються електричними властивостями матеріалів частинок, що сепаруються. До числа таких властивостей відносяться: електропровідність, діелектрична проникність, електризація тертям (трибоелектричний ефект), контактний потенціал, піроелектричний ефект, п'єзоелектричний ефект, уніполярна (детекторна) провідність кристалів тощо.

Основна характеристика електричного поля – напруженість (E). Напруженість поля в точці – це величина, рівна відношенню сили, з якою поле діє на позитивний заряд, поміщений в цю точку, до величини цього заряду, тобто $E = F/Q$ [Н/Кл; В/м].

Середовище, в якому взаємодіють електричні заряди, характеризується відносною діелектричною проникністю (ϵ_c), яка показує, в скільки разів сила взаємодії зарядів в цьому середовищі менша, ніж у вакуумі.

Діелектрична проникність середовища (ϵ_c) характеризує його властивість поляризації. Абсолютна діелектрична проникність – (ϵ_a) визначається як $\epsilon_a = \epsilon_c \epsilon_o$, де ϵ_o – електрична стала, $\epsilon_o = 8.85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м.

Одна з основних електричних характеристик речовин – електропровідність (одиниця виміру – Сіменс), або питома електропровідність (одиниця виміру – См/м). Останній показник – величина, зворотна питомому опору.

За електропровідністю мінерали (матеріали) класифікуються на 3 групи:

- провідники – питома електропровідність $\geq 10^{-10}$ См/м;
- напівпровідники – питома електропровідність $10^{-10} - 10^{-8}$ См/м;
- непровідники (діелектрики) – питома електропровідність $< 10^{-8}$ См/м

Величина електропровідності складається з об'ємної і поверхневої складової. Остання залежить від стану поверхні. Шляхом нанесення на поверхню реагентів (наприклад, у вигляді аерозолів) можна цілеспрямовано змінювати провідність мінералів в потрібному напрямі.

До мінералів провідникової групи відносяться: магнетит, титаномagnetит, ільменіт, рутил, пірит, галеніт, графіт і інші мінерали.

До напівпровідників відносяться: доломіт, гематит, псиломелан, халькопирит, молібденіт, вольфраміт, сфалерит і ін.

До непровідників відносяться: кварц, циркон, турмалін, азбест, боксит, пірохлор і інші мінерали.

У електричному полі мінерали провідникової і непровідникової групи поведуться по різному.

Якщо в електричне поле ввести незаряджений провідник, то на позитивні і негативні заряди, що є в ньому у рівній кількості, почнуть діяти сили, які будуть рухати заряди в протилежні сторони (в металах будуть переміщатись електрони).

На поверхні провідника, розміщеного в електричному полі, з'являються електричні заряди, притому на одному кінці концентрується надлишок електронів (поблизу позитивного електроду), на іншому – спостерігається їх недостача, тобто з'являється позитивний заряд. При видаленні провідника з поля відновлюється первинний стан.

Розміщення в електричному полі непровідника (діелектрика) супроводжується зміщенням в ньому зарядів (зокрема, під дією переорієнтації електричних диполів відповідно до напрямку напруженості електричного поля). На кінцях діелектрика також з'являються заряди, але при контакті з електродом перехід зарядів неможливий, кулонівські сили притягують непровідник до електроду.

Електростатична сепарація дозволяє розділяти частинки, що відрізняються провідністю, діелектричною проникністю, масою, розмірами, формою, фізико-хімічними властивостями поверхні. Електростатична сепарація заснована на різній поведінці частинок матеріалів, коли вони знаходяться під поляризуючою дією електричного поля. В результаті частинки різного складу заряджаються різною мірою при певних значеннях напруженості електричного поля, а також часу його дії і, як наслідок, по різному реагують на одночасно діючі на них електричні і інші сили, зокрема гравітаційні.

Якщо таким зарядженим частинкам надати можливість вільно переміщатися, то напрями їх руху розрізнятимуться, що і використовується для їх розділення. Моделі електростатичних сепараторів відрізняються одна від одної характером і конфігурацією поля, способами електризації частинок, що розділюється, конструктивним виконанням, використовуваними матеріалами.

2.2. Електричні методи сепарації

Електричні методи сепарації застосовуються як для збагачення, тобто розділення початкового матеріалу на продукти різного мінерального складу, так і для класифікації матеріалів за їх розмірами.

Сепарація матеріалів при застосуванні електричних методів відбувається за рахунок різної поведінки частинок різного складу (чи різних розмірів) в електричному полі.

Різне співвідношення діючих на частинки електричних і механічних сил визначає їх поведінку.

Електричні сили визначаються зарядом частинок і характеристиками електричного поля; механічні сили залежать від динаміки руху частинок в електричному полі. Оскільки існує два види зарядів електричних частинок (позитивні і негативні), розподіл частинок по мінеральному складу може відбуватися і при однакових електричних силах, але за умови, що частинки мають заряд різного знаку, що зумовить різні напрямки цих сил.

Методи електросепарації поділяють в залежності від особливостей отримання частинками електричного заряду, що є можливим завдяки таким основним процесам :

1. Сепарація за електропровідністю. В цьому випадку частинки отримують контактний заряд (за рахунок зіткнення із зарядженою поверхнею) або наведений заряд (за законом електростатичної індукції). Усі мінерали за електропровідністю, як уже зазначалось вище, умовно можуть бути розділені на три групи: провідники, напівпровідники і непровідники. Збагачення

здійснюється успішно, якщо компоненти мінеральної суміші значно розрізняються по електропровідності.

2. Трибоелектростатичну або трибоелектричну сепарацію застосовують для розділення мінералів, що мають близьку за значенням провідність. Цей спосіб заснований на використанні контактної електризації (трибоелектричного ефекту). У загальному вигляді явище трибоелектричного ефекту полягає в наступному. Якщо електрично нейтральну частинку одного мінералу привести у стан контакту з електрично нейтральною частинкою іншого мінералу або з поверхнею якого-небудь матеріалу, і потім перервати контакт, роз'єднавши їх, на обох дотичних поверхнях виникнуть різні за знаком електричні заряди. При багатократному повторенні вказаної елементарної дії і за умови, що контакти здійснюються кожного разу новими ділянками поверхні, вдається створити густину поверхневого заряду, достатню для сепарації в електростатичному полі високої напруженості.

3. Піроелектрична сепарація заснована на властивості поляризуватися при нагріванні і охолодженні невеликої групи кристалічних мінералів (турмалін, борацит та ін.), що мають різні коефіцієнти теплового розширення по різних осях кристалів. Неоднакова механічна напруга, що виникає в таких кристалах, викликає утворення локальних різнойменних зарядів на протилежних кінцях кристала.

4. П'єзоелектрична сепарація, в якій використовується ефект зарядження частинки за рахунок механічної напруги.

5. Діелектрична сепарація заснована на відмінності в діелектричній проникності мінералів, що розділяються. У неоднорідному електричному полі в середовищі з діелектричною проникністю ϵ_c , проміжною між діелектричною проникністю мінералів, що розділяються, ϵ_1 і ϵ_2 , частинки з діелектричною проникністю $\epsilon_1 > \epsilon_c$ втягуються в області найбільшої напруженості, а частинки з проникністю $\epsilon_2 < \epsilon_c$, навпаки, виштовхуються у напрямі слабкіших ділянок поля. Цим способом можна розділяти мінерали з відносною діелектричною проникністю, що розрізняється на 0,5-1 одиницю.

6. Сепарація, що використовує іонізацію середовища, де зарядження частинок відбувається за рахунок адсорбції іонів.

Процеси піроелектричної, п'єзоелектричної і діелектричної сепарації мають обмежене поширення. Промислове застосування отримали процеси трибоелектричного збагачення і процеси, що використовують відмінність в електропровідності і іонізації середовища.

2.3. Аналіз діючих сил при процесах електросепарації

Діючі на частинки сили при процесах електросепарації теоретично проаналізовані в багатьох публікаціях .

Напруженість електростатичного поля E біля поверхні сферичної частинки, що має заряд q , визначається за співвідношенням

$$E = q/(4\pi\epsilon_c\epsilon_0r^2), \quad (2.1)$$

де q – заряд частинки, Кл;

ϵ_c – відносна діелектрична проникність середовища;

ϵ_0 – діелектрична стала, $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м, або діелектрична проникність вакууму;

r – радіус частинки, м;

$\epsilon_c\epsilon_0 = \epsilon_a$ – абсолютна діелектрична проникність середовища.

Якщо як середовище використовується повітря, то з урахуванням $\epsilon_{\text{повітря}} \sim 1$ вираз (2.1) набуває вигляду

$$E = q/(4\pi\epsilon_0r^2). \quad (2.2)$$

За формулами (2.1) і (2.2) можна визначити заряд частинки в електростатичному полі, якщо відома його напруженість:

$$q = 4\pi\epsilon_c\epsilon_0r^2E, \quad (2.3)$$

чи для повітря

$$q = 4\pi\epsilon_0 r^2 E. \quad (2.4)$$

У полі коронного розряду заряд частинок обумовлений адсорбцією іонів. Він зростає при збільшенні часу перебування частинок в цьому полі. Динаміка зростання заряду частинок визначається формулою Потеньє. Відповідно до цієї формули максимальний заряд частинки сферичної форми

$$q_\infty = 4\pi\epsilon\epsilon_0 [1 + 2(\epsilon_m - \epsilon_c)/(\epsilon_m + 2\epsilon_c)]r^2 E_k, \quad (2.5)$$

де ϵ_m – відносна діелектрична проникність частинки; E_k – напруженість поля корони, В/м.

Для повітряного середовища, в якому зазвичай ведуть процес збагачення, формула (2.5) набере вигляду

$$q_\infty = 4\pi\epsilon_0 [1 + 2(\epsilon_m - 1)/(\epsilon_m + 2\epsilon_c)]r^2 E_k. \quad (2.6)$$

Частинки, потрапляючи в поле коронного розряду, швидко набувають заряд, близький до максимального, тому в практичних розрахунках для визначення заряду частинок можна користуватися формулами (2.5) або (2.6).

У повітряному середовищі максимальний заряд для частинки, що є провідником ($\epsilon_m \rightarrow \infty$) складає

$$(q_\infty)_{\text{пр}} = 12\pi\epsilon_0 r^2 E_k, \quad (2.7)$$

а для непровідної частинки (якщо $\epsilon_m = 1$)

$$(q_\infty)_n = 4\pi\epsilon_0 r^2 E_k. \quad (2.8)$$

При електричній сепарації на частинки діють три основні електричні сили: кулонівська, дзеркального відображення і пондеромоторна сила .

1. Електрична кулонівська сила F_e , обумовлена тяжінням частинки до протилежного по знаку електроду і відштовхуванням її від однойменного електроду

$$F_e = qE. \quad (2.9)$$

З урахуванням формул (2.3) і (2.4) для електричного поля можливо написати

$$F_e = 4\pi\epsilon_c\epsilon_0 r^2 E^2, \quad (2.10)$$

і для повітряного середовища

$$F_e = 4\pi\epsilon_0 r^2 E^2. \quad (2.11)$$

У полі коронного розряду з урахуванням формул (2.5) і (2.6) електрична кулонівська сила

$$F_e = 4\pi\epsilon_c\epsilon_0 [1 + 2(\epsilon_m - \epsilon_c)/(\epsilon_m + 2\epsilon_c)] r^2 E_k^2, \quad (2.12)$$

і для повітряного середовища

$$F_e = 4\pi\epsilon_0 [1 + 2(\epsilon_m - 1)/(\epsilon_m + 2)] r^2 E_k^2. \quad (2.13)$$

2. Сила дзеркального відображення $F_{\partial z}$, що виникає при знаходженні частинки поблизу електроду, що проводить, або ж на самому електроді за рахунок електростатичної індукції

$$F_{\partial z} = q^2/(4\pi\epsilon_c\epsilon_0 r^2), \quad (2.14)$$

і для повітряного середовища

$$F_{\partial z} = q^2/(4\pi\epsilon_0 r^2). \quad (2.15)$$

У формулах (2.14) і (2.15) r – радіус самої частинки в метрах (якщо частинка безпосередньо торкається електроду) або відстань частинки до поверхні електроду (якщо частинка безпосередньо не торкається електроду).

3. Пондеромоторна сила F_{Π} обумовлена різницею між діелектричною проникністю твердої частинки (ϵ_m і діелектричною проникністю середовища ϵ_c , в якому здійснюється збагачення. Ця сила прагне виштовхнути частинку в слабкіші ділянки поля, якщо $\epsilon_m < \epsilon_c$, і, навпаки, втягнути при $\epsilon_m > \epsilon_c$:

$$F_{\Pi} = 2\pi\epsilon\epsilon_0 r^3 [(\epsilon_m - \epsilon_c)/(\epsilon_m + 2\epsilon_c)] \text{grad} E^2, \quad (2.16)$$

де $\text{grad} E^2$ – градієнт квадрату напруженості електричного поля, направлений в напрямку максимального зростання E .

Градієнт напруженості $\text{grad} E^2$ характеризує неоднорідність поля, тому у формулу (2.16) замість $\text{grad} E^2$ іноді вводять коефіцієнт неоднорідності s :

$$c = \text{grad}E^2/E^2. \quad (2.17)$$

Тоді формула (2.16) матиме вигляд:

$$F_{\Pi} = 2\pi\epsilon\epsilon_0 r^3 [(\epsilon_M - \epsilon_c)/(\epsilon_M + 2\epsilon)] cE^2. \quad (2.18)$$

Електричне збагачення, як правило, здійснюється в повітряному середовищі, де $\epsilon_c = 1$. В цьому випадку формули (2.16) і (2.18) набувають відповідно наступного вигляду:

$$F_{\Pi} = 4\pi\epsilon_0 r^3 [(\epsilon_M - 1)/(\epsilon_M + 2\epsilon)] \text{grad}E^2 \quad (2.19)$$

$$\text{і} \quad F_{\Pi} = 2\pi\epsilon_0 r^3 [(\epsilon_M - 1)/(\epsilon_M + 2)] cE^2. \quad (2.20)$$

Для провідників, у яких $\epsilon_M \rightarrow \infty$, пондеромоторна сила в повітрі

$$F_{\Pi} = 2\pi\epsilon_0 r^3 cE^2. \quad (2.21)$$

Електрична кулонівська сила F_e , яка визначається по формулі (2.9), проявляється в усіх випадках за наявності заряду у частинки і електричного поля, незалежно від того, буде це поле однорідним або неоднорідним.

Сила дзеркального відображення $F_{\partial z}$ також виникає в електричному полі за наявності заряду у частинок, але її дія помітна лише поблизу електроду і особливо сильно проявляється при контакті з ним. За абсолютною величиною $F_{\partial z}$ значно менше F_e . Пондеромоторна сила F_{Π} діє на незаряджені частинки, але проявляється вона тільки в неоднорідному полі. Значення її залежить від характеру середовища. В повітрі за інших рівних умов F_{Π} дуже мала в порівнянні з F_e і нею можна нехтувати, проте в рідині з високою діелектричною проникністю F_{Π} досягає великих значень. Співвідношення між електричною кулонівською силою F_e і пондеромоторною F_{Π} для повітря визначається за співвідношенням

$$F_e / F_{\Pi} = \frac{2}{rc} \cdot (\epsilon_M - 1)/(\epsilon_M + 2), \quad (2.22)$$

і для провідників ($\epsilon_M \rightarrow \infty$)

$$F_e / F_n = \frac{2}{rc} \cdot \quad (2.23)$$

Траєкторія руху частинок при електричному збагаченні визначатиметься співвідношенням між електричними і механічними силами, діючими на них. Основними механічними силами є гравітаційна сила, відцентрова сила і сила опору середовища (в повітрі її зазвичай не враховують). Сили молекулярного зчеплення частинок між собою і з електродами, сила тертя між частинками і електродом також не враховуються.

Діючі механічні сили залежать від характеру руху матеріалу в робочому просторі. Наприклад, на частинки в барабанних коронних сепараторах матеріал подається безпосередньо на електрод осадження, що обертається (рисунок 2.2). На електроді осадження в зоні іонізації частку утримує електрична кулонівська сила F_e і сила дзеркального відображення $F_{\partial z}$. Відриває частку від електроду відцентрова сила $F_{\text{ц}}$. Нормальна складова гравітаційної сили F_{Γ} може або утримувати частку на електроді осадження (у верхній його чверті), або відривати (у нижній чверті електроду) залежно від кута повороту барабану. Пондеромоторною силою F_n і силою опору середовища можна нехтувати із-за їх відносно малих значень. Результуюча сила F в зоні іонізації, що визначає траєкторію руху частинок, є векторною сумою основних взаємодіючих сил :

$$F = F_e + F_{\partial z} - F_{\text{ц}} + F_{\Gamma}. \quad (2.24)$$

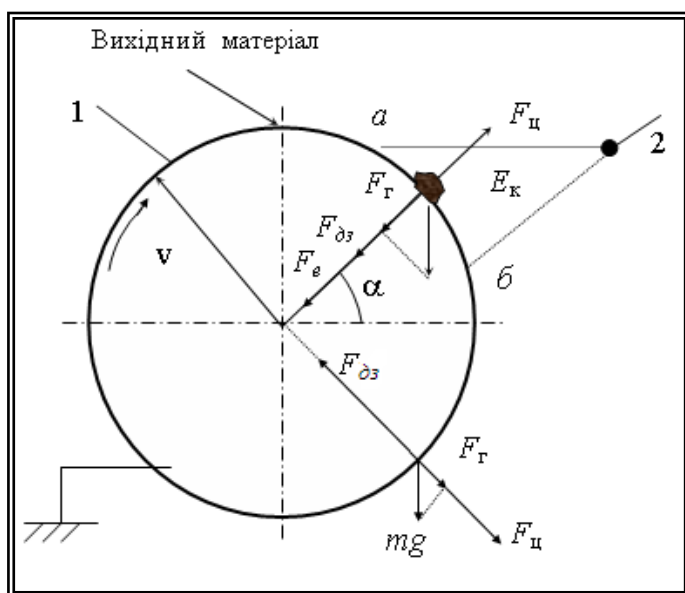


Рисунок 2.2 – Векторна діаграма сил, що діють на частинки в барабанних коронних сепараторах

- 1 – електрод осадження;
- 2 – коронуючий електрод;
- аб – зона іонізації

Частинка утримується на електроді осадження при $F > 0$; якщо $F < 0$, частинка відриватиметься від нього. При розрахунку F_e і $F_{\partial z}$ у формули відповідно (2.9) і (2.13) слід підставляти рівноважний заряд q_p , який встановиться залежно від співвідношення швидкості зарядження частинок (за рахунок адсорбції іонів) і розрядки їх на заземленому електроді осадження, на який тонким шаром подається вихідний матеріал. Значення цього рівноважного заряду залежатиме від електропровідності частинок. Чим вище електропровідність частинок, тим більше буде швидкість розрядки частинок, менше рівноважний заряд і, отже, менше сили F_e і $F_{\partial z}$, що утримують частку на електроді.

Після виходу частинки із зони іонізації (після точки б на рис.2.2), тобто з електричного поля, електрична кулонівська сила F_e перестане діяти. На електроді частинку утримуватиме тільки сила дзеркального відображення $F_{\partial z}$, а механічні сили (відцентрова і нормальна складова гравітаційної сили) відриватимуть її від електроду. Результируюча сила при цьому визначиться рівністю

$$F = F_{\partial z} - F_{\text{ц}} - F_{\text{г}}. \quad (2.25)$$

Оскільки після виходу матеріалу із зони іонізації відбудуватиметься тільки розрядження частинок, заряд їх зменшуватиметься і величина $F_{\partial z}$ визначиться рівністю

$$F_{\partial z} = q_{\text{за}}^2 / (4\pi\epsilon_0 r^2), \quad (2.26)$$

де $q_{\text{за}}$ – залишковий заряд частинки.

У формулі (2.25) відцентрова сила $F_{\text{ц}}$ і нормальна складова гравітаційної сили $F_{\text{г}}$ розраховуються за загальновідомим формулам

$$F_{\text{ц}} = m(v^2/R); \quad (2.27)$$

$$F_{\text{г}} = mgsin\alpha, \quad (2.28)$$

де

m – маса частинки ($m = (4\pi r^3 \rho)/3$, де r – радіус частинки, м;

ρ – її густина, кг/м^3), кг;

v – окружна швидкість обертання електроду осадження, м/с;

R – радіус електроду осадження, м;

α – кут повороту барабану, град.

2.4. Підготовка вихідного матеріалу до електросепарації

Перед сепарацією, для підвищення ефективності зарядження частинок, передбачається поліпшення в потрібному напрямі природних властивостей мінералів .

Підготовка руди до електричної сепарації може включати наступні операції:

- класифікація (знепилювання);
- термічна сушка;
- обробка поверхні реагентами;
- зволоження;
- термічна обробка (нагрівання).

Знепилювання - відділення тонкодисперсних частинок (<40 мкм) при діелектричній сепарації і розділенні частинок за електропровідністю.

Пилоподібні частинки, обволікаючи більші, знижують селективність розподілу, тому знепилювання, як правило, покращує показники збагачення.

Перед розділенням на барабанних сепараторах рекомендується класифікація за розмірами, оскільки при некласифікованому матеріалі відцентрові сили, значення яких в першому наближенні пропорційні кубу діаметру частинок, можуть нівелювати дію електричних сил, пропорційних квадрату діаметру частинок.

Термічна сушка - видалення поверхневої вологи. Операція знижує вірогідність злипання частинок, збільшує контрастність гідрофільних частинок (що змочуються водою), які відрізняються об'ємними електропровідностями.

Так, при великій вологості початкового матеріалу різко зростають сили зчеплення частинок між собою. Тому перед електричною сепарацією

рекомендують підсушувати матеріал до стану сипучості. Доцільність повного видалення поверхневої вологи вирішується у кожному конкретному випадку, оскільки для деяких мінеральних пар залишкова волога сприятливо впливає на процес (підвищується ефективність зарядження).

Якщо природна різниця електричних властивостей мінералів, що розділяються, недостатня для ефективного їх зарядження, використовують підготовчі засоби, спрямовані на зміну цих властивостей.

Обробка поверхні реагентами – операція, спрямована на зміну в потрібному напрямі поверхневої електропровідності і зниження сил адгезії. Може здійснюватися по декількох напрямках :

- посилення гідрофобності одного з мінералів за допомогою органічних реагентів, за яким іде зволоження усієї маси початкового матеріалу, що приводить до підвищення контрастності в електропровідності гідрофобних і гідрофільних частинок.
- зміна електричної провідності шляхом створення на поверхні одного з мінералів електропровідної плівки за допомогою неорганічних реагентів;
- зниження сил адгезії (злипання) між мінералами, що розділяються.

Зволоження - застосовується у разі, якщо мінерали, що розділяються, мають близькі значення об'ємної електропровідності, а поверхня їх характеризується різною мірою гідрофобності. В цьому випадку гідрофільні частинки за властивостями наближаються до провідників із-за збільшення поверхневої складової електропровідності. Зволоження виконується "м'яке", вологість до 5 %. Операція застосовується, наприклад, при виділенні алмазів.

При сепарації за електропровідністю попередня підготовка має бути спрямована на штучне збільшення різниці в об'ємній або поверхневій провідності компонентів. Найбільш ефективна при цьому реагентна і термічна підготовка частинок мінералів.

Термічна обробка (нагрівання) - нагрів матеріалу, що сепарується, до 50 – 300 °C посилює контрастність електропровідності мінералів провідникової і напівпровідникової груп. З підвищенням температури провідність мінералів

напівпровідникової групи росте, а мінералів провідників – падає. Крім того, при підвищених температурах посилюється ефект контактної електризації. Операція часто реалізується шляхом установки нагрівачів в бункер початкового матеріалу та в конструкцію живильника.

Термічна підготовка – ефективний спосіб зміни електропровідності. На відміну від реагентної, вона впливає як на об'ємну, так і на поверхневу складову електропровідності.

При термічній підготовці відмінність в електропровідності досягається за рахунок неоднакової зміни провідності мінералів при нагріванні. Для напівпровідників і діелектриків електропровідність з підвищенням температури збільшується, а для провідників – зменшується.

2.5. Конструкції електросепараторів

2.5.1. Барабанні електростатичні сепаратори

На барабанних електростатичних сепараторах здійснюється розділення сипких речовин, що мають різну питому електропровідність.

На рисунку 2.3 представлена конструкція такого сепаратора.

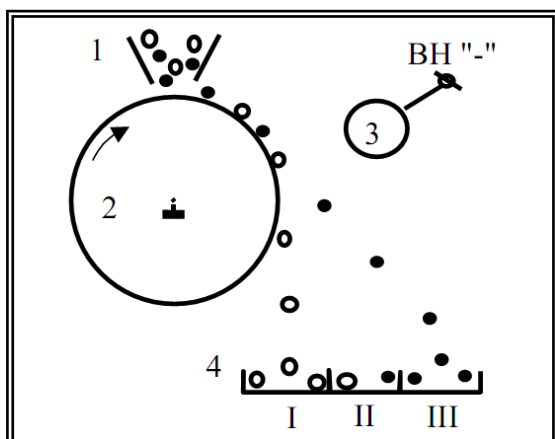


Рисунок 2.3 – Схема барабанного електростатичного сепаратора
1 – дозатор,
2 – металевий заземлений барабан (електрод осадження),
3 – некоронуючий високовольтний електрод,
4 – приймач для непровідних частинок I, провідних частинок III, і їх суміші II.

Електростатичне поле створюється між некоронуючим високовольтним електродом 3 і заземленим барабаном (електродом осадження) 2. Частинки

матеріалів, що розділяються, з дозатора потрапляють на поверхню барабана, що обертається.

Після переміщення їх в зону електростатичного поля частинки, що проводять, в результаті контактної зарядки набувають заряд протилежний по знаку потенціалу високовольтного електроду. Сила електричного поля, що виникає при цьому, відриває частинки від поверхні барабана і вони потрапляють в приймач ІІІ. Непровідні частинки не встигають набути надмірний заряд і під дією сил тяжіння падають в приймач І. У приймач ІІ потрапляє суміш з частинок, що проводять і непровідних, що не пройшли розділення.

Швидкість обертання барабана складає $40 \div 400$ обертів за хвилину. Напруженість електростатичного поля $E_{\text{ел.ст}} = 3 \div 4$ кВ/см. Продуктивність сепаратора на погонний метр довжини складає $Q \approx 2$ т/м-год. Діаметр частинок, що сепаруються знаходиться в діапазоні $100 \text{ мкм} \div 3 \text{ мм}$.

2.5.2. Барабанні коронні сепаратори

Для ефективнішого розділення матеріалів за провідністю використовують сепаратори, в яких зарядження частинок здійснюється в полі коронного розряду. Це приводить до появи заряду на непровідних частинках, причому того ж знаку, що і коронуючий електрод. Отже, виникає електрична сила, що утримує ці частинки на поверхні барабана в зоні розділення матеріалів. Крім того, непровідні частинки утримуються на поверхні барабана силами дзеркального відображення аж до видалення їх за допомогою скребка.

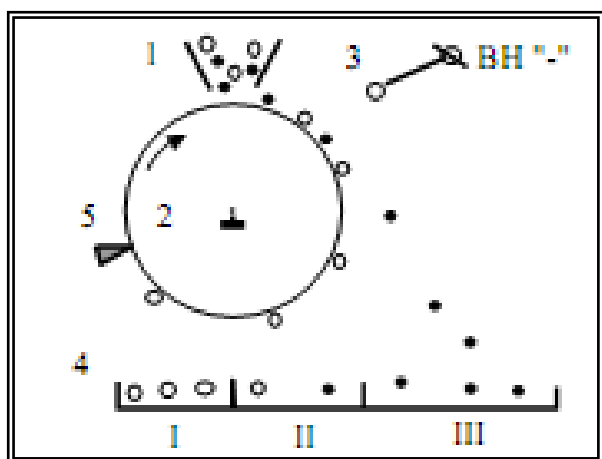


Рисунок 2.4 – Схема барабанного коронного сепаратора

- 1 – дозатор,
- 2 – металевий заземлений барабан (осаджувальний електрод),
- 3 – коронуючий високовольтний електрод,
- 4 – приймач для непровідних частинок І, провідних частинок ІІІ і їх суміші ІІ,
- 5 – скребок.

В результаті розділення матеріалів (провідних і непровідних), відбувається на різних сторонах поверхні барабану, що забезпечує більш селективне відділення провідників від непровідників.

2.5.3. Барабанні коронно-електростатичні сепаратори

Коронно-електростатичні барабанні сепаратори набули найбільшого поширення.

На рисунку 2.5 представлено типову схему такого сепаратора, в якого за коронуючим електродом 3 розміщується високовольтний некоронуючий електрод відхилення, 4. У цих сепараторах механізм зарядження частинок в зоні коронного розряду аналогічний попередньому варіанту. Введення в робочу зону додаткового електростатичного поля збільшує роль електричних сил, сприяючи більш ранньому відриванню провідних частинок від поверхні барабана. Частинки діелектриків, за інших рівних умов, утримуються на більшій ділянці периметра барабана. В результаті цього збільшується різниця в траєкторіях провідних і непровідних частинок. Таким чином, електродна система є найважливішим вузлом цих сепараторів.

Електроди осадження виготовляють зазвичай із сталевих труб, які мають діаметр 125÷350 мм і довжина до 2 м для зменшення впливу адгезійних сил. Поверхня електродів осадження має бути гладкою, тому її хромують і полірують.

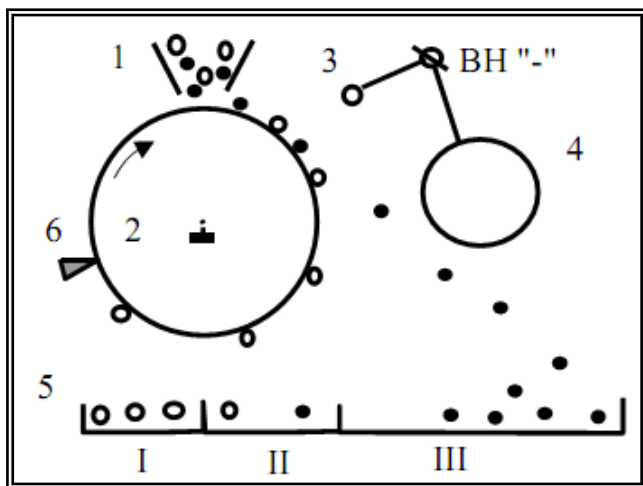


Рисунок 2.5 – Схема барабанного коронно-електростатичного сепаратора

- 1 – дозатор,
- 2 – металевий заземлений барабан (електрод осадження),
- 3 – коронуючий високовольтний електрод
- 4 – електрод відхилення,
- 5 – приймач для непровідних частинок I, провідних частинок III і їх суміші II
- 6 – скребок.

Набули поширення два типи коронуючих електродів : дротяні і голчасті. Дротяні електроди виконують з ніхромового або вольфрамового дроту діаметром $0,25 \div 0,4$ мм. Голчасті електроди монтують на металевому стержні на відстані $3 \div 6$ мм один від одного.

Конструкції електродів, що відхиляють, дуже різноманітні. На рисунку 2.6 показані комбінації дротяного коронуючого електроду та різних електродів відхилення.

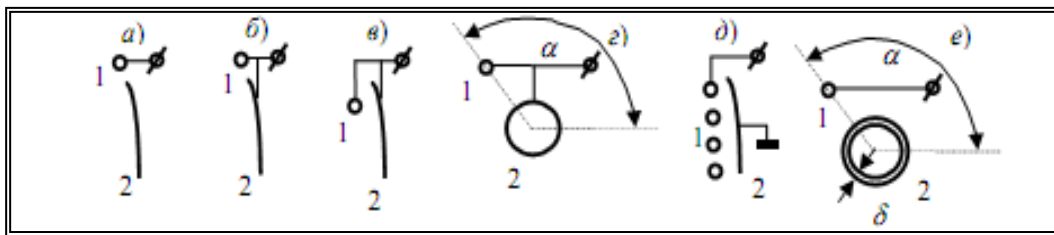


Рисунок 2.6 – Схеми розташування електродів барабанних коронно-електростатичних сепараторів :

а) пластинчатий відхиляючий електрод, заряджається від коронуючого; б) пластинчатий відхиляючий електрод, підключений до коронуючого; в) пластинчатий відхиляючий електрод, підключений до коронуючого і розташований за ним; г) циліндричний відхиляючий електрод, сполучений з коронуючим; д) система з декількома коронуючими і заземленим відхиляючим електродами; е) циліндричний відхиляючий електрод, покритий шаром з діелектрика завтовшки δ , заряджається від коронуючого.

Наявність деталей, що обертаються, і частин, що мають тертя, та працюють в запиленій атмосфері, викликає їх швидке зношення. Крім того, ці сепаратори мало ефективні при розділенні тонкоподрібненого матеріалу розмірами менше $50 \div 70$ мкм внаслідок адгезійної взаємодії мінеральних частинок між собою і з поверхнею барабану.

2.5.4. Лоткові похилі електростатичні сепаратори

Ці типи сепараторів знайшли широке застосування при розділенні титановмісних руд. Матеріали, що сепаруються, з бункера 1 (рисунок 2.7) потрапляють на похилу площину, розташовану під кутом $20^\circ \div 42^\circ$ до горизонталі.

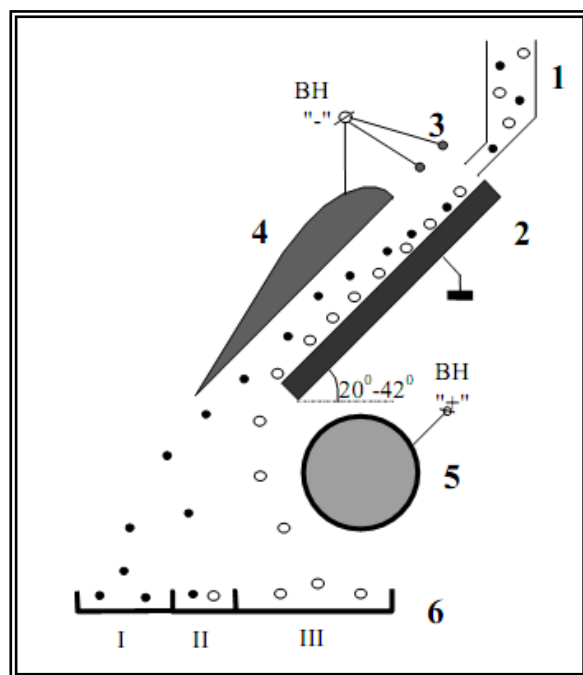


Рисунок 2.7 Конструкція лоткового похилого електростатичного сепаратора

- 1 – дозатор,
- 2 – пластинчатий похилий електрод осадження,
- 3 – коронуючий електрод,
- 4 – відхиляючий електрод,
- 5 – додатковий електрод відхилення,
- 6 – приймач для провідних частинок I, непровідних частинок III і їх суміші II

Ковзаючи по заземленому лотку спочатку в полі коронного розряду, що створюється між електродами 3 і 2, а потім в електростатичному полі, що утворюється електродами 4 і 2, частинки рутилу, що проводять, заряджаються позитивно і концентруються у верхній частині шару. Непровідні частинки циркону заряджаються негативно і концентруються в нижній частині шару. Електростатичне поле сприяє кращому розділенню частинок. Для кращого розділення частинок мінералів під похилою площиною розміщують додатковий електрод 5 відхилення, на який подають високу напругу позитивної полярності.

На процес сепарації істотно впливають довжина і кут нахилу заземленого електроду 2. Для зменшення впливу адгезійних сил і контактного опору між поверхнею заземленого електроду і частинками, пластинчатий електрод виготовляється з графітовмісного матеріалу.

Продуктивність сепаратора досягає $Q = 3 \text{ т/(м} \cdot \text{год)}$. Для барабаних і лоткових сепараторів питома електропровідність матеріалів, що розділяються, повинна відрізнятися на $2 \div 4$ порядки.

2.5.5. Барабанні трибоелектростатичні сепаратори

Трибоелектричний сепаратор – це електричний сепаратор, в якому вихідний матеріал розділяється на компоненти по відмінності набутих трибоелектричних зарядів в електростатичному полі.

У представленого на рисунку 2.8 барабанного трибоелектростатичного сепаратора зарядження частинок матеріалів, що розділяються, здійснюється на похилій площині 2 за рахунок трибоелектризації при їх контакті з поверхнею площини.

Підбираючи матеріал площини можна регулювати знак заряду, що набувається частинками. Крім того, встановлено, що подача на металеву пластину високої напруги позитивної або негативної полярності (залежно від властивостей матеріалів, що розділяються) може значно збільшити трибоелектричний заряд.

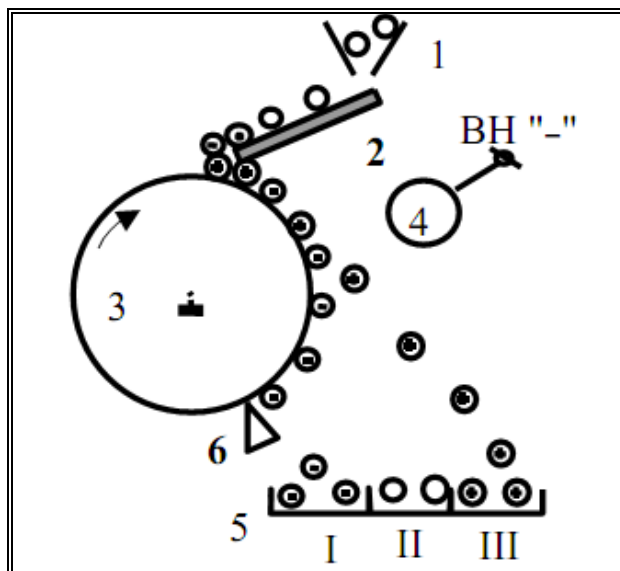


Рисунок 2.8 – Схема барабанного трибоелектростатичного сепаратора :

- 1 – дозатор,
- 2 – електризуючий елемент,
- 3 – металевий заземлений барабан (осаджувальний електрод),
- 4 – некоронуючий виокремований електрод,
- 5 – приймач для частинок.

Різнойменно заряджені частинки поступають в електростатичне поле, що створюється між електродами 3 і 4, де відбувається їх розділення. Позитивно заряджені частинки під дією електричного поля відриваються від поверхні барабана і потрапляють в приймач 5 (III). Негативно заряджені частинки скребком 6 зчищаються в приймач 5 (I).

2.5.6. Камерні електростатичні сепаратори вільного падіння

Схему камерного електростатичного сепаратора представлено на рисунку 2.9. Розширення міжелектродної відстані в нижній частині сепаратора дозволяє розширити віяло матеріалів, що розділяються, і поліпшити таким чином їх сепарацію. Перевагою даного типу сепараторів являється велика продуктивність, оскільки процес розділення частинок матеріалу здійснюється не на поверхні електроду, а в міжелектродному просторі.

Після зарядження матеріал, що розділяється, поступає з дозатора в зону з електростатичним полем. Поле створюється вертикально розташованими некоронуючими електродами. Падаючи вниз під дією сил тяжіння, частинки відхиляються у бік електродів під дією кулонівських сил. Напрямок дії електричної сили залежить від знаку надлишкового заряду частинки.

Недоліком цієї конструкції є поступове накопичення шару частинок, в результаті осадження частинок на електроди. При утворенні на електроді шару пилу певної величини, він відвалюється від електроду і частина відсепарованого матеріалу попадає у відходи.

Для запобігання накопиченню частинок, що осіли, виконують очищення осаджувальних електродів. На рисунку 2.10 представлена конструкція камерного електростатичного сепаратора фірми "Калі унд Зальц АГ" (Німеччина).

Осаджувальні електроди сепаратора представляють собою два ряди паралельно встановлених вертикальних труб, що обертаються навколо своєї

осі . Вони очищаються від налиплого пилю нерухомими щітками, укріпленими паралельно трубам з тильного боку.

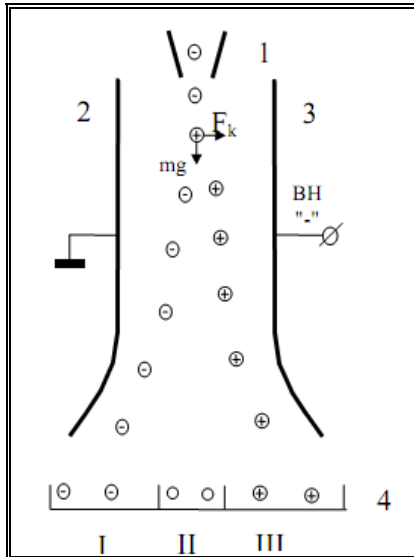


Рисунок 2.9– Схема камерного електростатичного сепаратора:
1 – дозатор, 2 – заземлений електрод
3 – високовольтний електрод,
4 – приймач для матеріалу , що сепарується (I – негативно зарядженого, II – незарядженого і III – позитивно зарядженого).

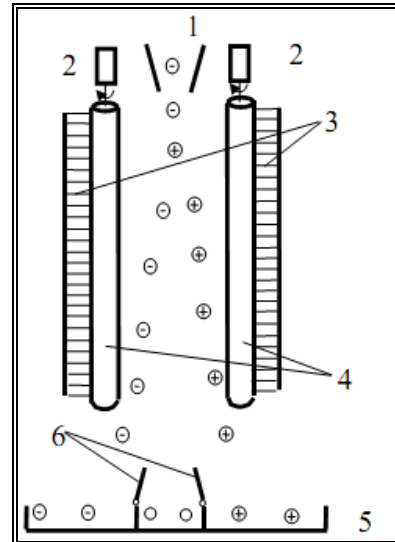


Рисунок 2.10 – Схема камерного трубчатого електростатичного сепаратора:
1 – дозатор,
2 – електродвигун,
3 – щітки для очищення електродів осадження 4,
5 – приймач матеріалів, що сепаруються,
6 – відсікаючі пластини

Промислові сепаратори такого типу мають робочу довжину електродів 10 м, відстань між електродами 250 мм. Напруженість електростатичного поля $4\div 5$ кВ/см. Питома продуктивність сепаратора складає $10\div 30$ т/(м·год.).

2.5.7. Сепаратор з киплячим шаром (трибоелектростатичний флюїдизаційний сепаратор)

Сепаратор складається з транспортера з заземленою провідною стрічкою (рисунок 2.11), флюїдизаційної ванни 2, яка має пористу перегородку 3 з шаром 4 суміші порошкових матеріалів, що підлягають сепарації. Через

пористу перегородку у ванну подають висхідний потік повітря і частинки порошку переводяться в завислий у повітрі стан. Частинки заряджаються при зіткненні одна з одною.

У ванні на деякій відстані від пористої перегородки встановлені дротяні електроди, до яких підводиться висока напруга.

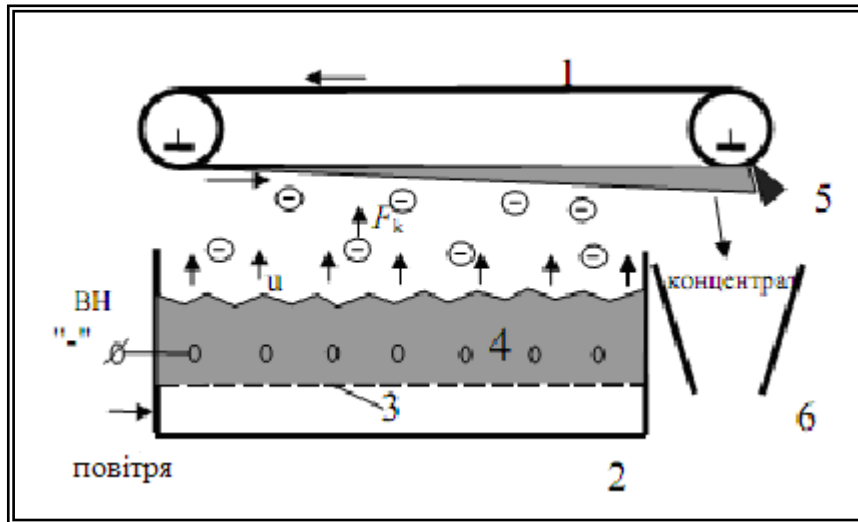


Рисунок 2.11 – Схема сепаратора з киплячим шаром

- 1 – транспортер із заземленою провідною стрічкою,
- 2 – ванна з пористою перегородкою 3;
- 4 – киплячий шар порошку,
- 5 – скребок,
- 6 – приймальний бункер для концентрату.

Електростатичне поле, що створюється між високовольтними електродами і заземленою провідною стрічкою транспортера 1, витягає з киплячого шару частинки одного з матеріалів, що розділяються, заряджені тим же знаком, що і потенціал високовольтних електродів. Осідаючи на стрічку провідного транспортера, частинки утримуються силами дзеркального відображення аж до моменту видалення їх скребком 5 в бункер для концентрату. Частинки іншого з матеріалів, що розділяють, заряджені протилежним зарядом, концентруються біля високовольтних електродів і періодично розвантажуються з ванни через зливні отвори.

2.5.8. Піроелектричні сепаратори

Деякі кристалічні матеріали при нагріванні і різкому охолодженні електризуються .

Для реалізації цього зарядження за допомогою барабанних сепараторів (рисунок 2.13) стінки бункера-дозатора 1 виконані у вигляді нагрівального елемента 3. Нагрітий матеріал, що попадає на холодну поверхню барабана 2, швидко охолоджується. Кристалічні матеріали , схильні до піроелектризації заряджаються і утримуються на поверхні барабану силами дзеркального відображення до моменту їх видалення скребком 5 в накопичувач I. Частинки інших матеріалів не заряджаються, відриваються від поверхні барабану і попадають у накопичувач III.

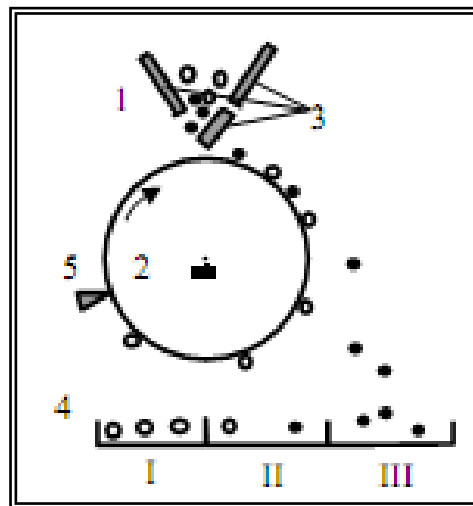


Рисунок 2.12 – Схема барабанного піроелектричного сепаратора
1– дозатор,
2 – металевий заземлений барабан (електрод осадження),
3 – електронагрівачі,
4 – накопичувач для частинок , що розділяються.

2.5.9. Діелектричні сепаратори

Діелектрична сепарація заснована на відмінності в значеннях і напрямках сил, діючих на поляризовані частинки твердих тіл в неоднорідному електричному полі . В цих умовах діюча сила на сферичну частинку

$$F = 2\pi\epsilon_0\epsilon_c a^3 \frac{\epsilon_q - \epsilon_c}{\epsilon_q + 2\epsilon_c} \text{grad} E^2 \quad (2.29)$$

де ϵ_q – відносна діелектрична проникність частинки,

ϵ_c – відносна діелектрична проникність середовища,

a – радіус сферичної частинки,

E – напруженість електричного поля.

В діелектричних сепараторах дисперсні матеріали, що розділяються, подають в неоднорідне електричне поле, що створюється електродами різної конфігурації. Розділення здійснюють в рідкому непровідному середовищі.

Поведінка частинок визначається різницею діелектричної проникності частинки ϵ_1 і середовища ϵ_c . У тому випадку, коли $\epsilon_1(1) > \epsilon_c$ частинка втягується в область з найбільшою напруженістю електричного поля; якщо ж $\epsilon_1(2) < \epsilon_c$ частинка виштовхується з цієї області. Практично для будь-якої пари мінералів і інших речовин можна підібрати умови, при яких вони розділяються.

Робочий простір сепараторів заповнюють рідким середовищем, що складається з двох компонентів, що змішуються, діелектричну проникність якої можна регулювати в широких межах зміною співвідношення складових частин. Як середовище використовують суміші: гас – нітробензол, скипидар – нітробензол, чотирихлористий вуглець – метиловий спирт, гексан – ацетон та ін.

Таким чином, вдається отримати необхідне співвідношення між відносними електричними сталими середовища і частинок.

В діелектричних сепараторах застосовують, як правило, ізольовані дротяні електроди, на які подають високу напругу змінної полярності промислової частоти для виключення зарядження і налипання частинок на електроди.

Конструкції діелектричних сепараторів розділяють на наступні види: щілинного типу (дроти в діелектричних пазах); з направляючою площиною (діелектричні пластини з прорізами між плоскими електродами); з

просторовим розташуванням електродів, при сепарації в повітряному середовищі.

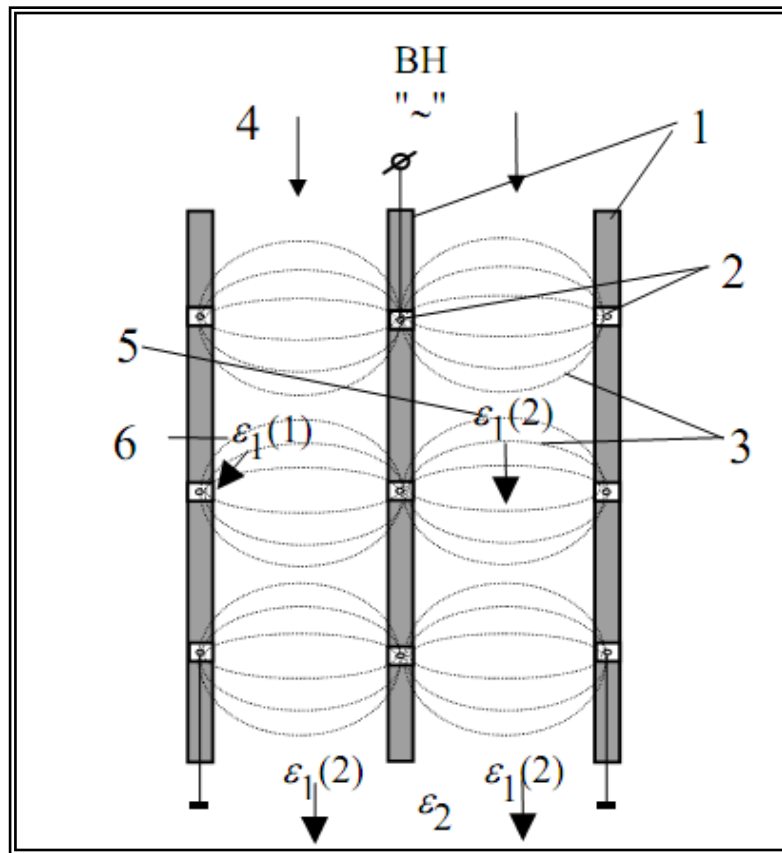


Рисунок 2.12 – Схема діелектричного сепаратора щілинного типу (дроти в діелектричних пазах) :

- 1 – діелектричні площини,
- 2 – дроти в пазах,
- 3 – силові лінії,
- 4 – потік частинок, що розділяються,
- 5 – частинки з $\epsilon_1(2) < \epsilon_c$,
- 6 – частинки з $\epsilon_1(1) > \epsilon_c$

В діелектричних сепараторах щілинного типу (рисунок 2.12.) дротяні електроди 2 монтують у вертикально встановлені діелектричні пластини 1. При вільному падінні в рідинному середовищі частинки мінералів з діелектричною проникністю більшою за таку, ніж у середовища, втягуються в область найбільшої напруженості. Частинки, що мають діелектричну проникність меншу, ніж у середовища, залишаються в області з найменшою напруженістю електричного поля і осідають в рідині, не відхиляючись до діелектричних пластин.

2.13. Застосування електросепараторів у сільськогосподарському виробництві

Електричні методи сепарації зернових у сільськогосподарському виробництві засновані на відмінності електропровідності, діелектричної проникності і інших електричних властивостей компонентів сумішей, що розділяють. Використовують електростатичний, коронний і діелектричний методи сепарації.

Сепарація в електростатичному полі. В електростатичному полі зерна поляризуються: один кінець зерна, звернений до позитивного електроду, набуває негативний заряд, інший – позитивний. Якщо зерно має форму еліпсоїда обертання з коефіцієнтом сферичності

$$K_{\phi} = \frac{l_B}{l_M}, \quad (2.29)$$

де l_B – довжина великої вісі еліпсоїда, l_M – довжина малої вісі еліпсоїда, то в електричному полі при різнойменних зарядах на кінцях еліпсоїда виникає момент M_e , орієнтуючий його уздовж силових ліній поля.

$$M_e \equiv \varepsilon_0 E_0^2 V_e K_{\phi} \sin 2\gamma, \quad (2.30) \text{ де}$$

$\varepsilon_0, E_0, \gamma$ – відповідно діелектрична проникність повітря, напруженість поля і кут нахилу великої вісі еліпсоїда до площини електроду; V_e – об'єм зерна.

Час орієнтації зерна, завислого в міжелектродному просторі, прямо пропорційний величині:

$$\tau_{op} \equiv l_B \sqrt{(1 + K_{\phi}^2) \rho \left(\frac{1}{\varepsilon_r - 1} + \Phi \right) \left(\frac{1}{\varepsilon_r + 1} + \Phi' \right)}, \quad (2.31)$$

де ρ – густина частинки, ε_r – її відносна діелектрична проникність; Φ і Φ' – відносні коефіцієнти, пов'язані з поляризацією зерна уздовж великої і малої вісі.

Описані закономірності використані при конструюванні ґратчастих електросепараторів (рисунк 2.13). У них на пласкі сортувальні решета з

круговими отворами накладається електростатичне поле .

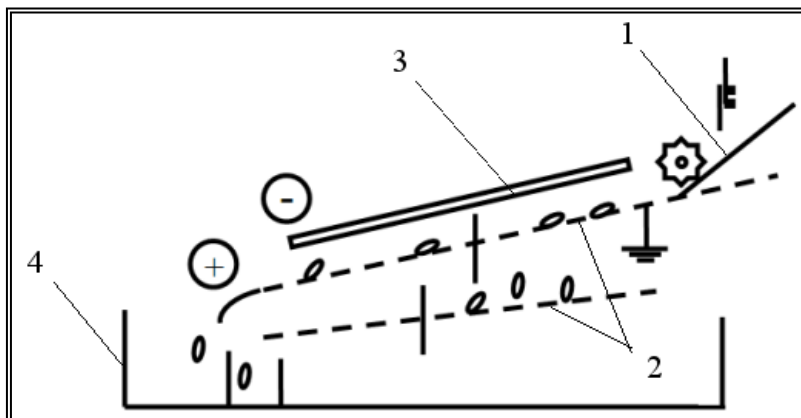


Рисунок 2.13 - Схема гратчастого електросепаратора: 1 – дозатор, 2 – плоскі сортувальні решета, 3 – відхиляючий електрод, 4 – накопичувач фракцій сепарування

Решета сепаратора вібрують з певною частотою і амплітудою у вертикальній площині. Зерна, набуваючи заряд при контакті з решетом, при відриві від решета орієнтуються уздовж силових ліній поля. Вірогідність проходження орієнтованого зерна зростає. Неорієнтовані зерна сходять з решета. Сортування залежить від наступних характеристик: коефіцієнта сферичності частинок, напруженості електричного поля, густини та діелектричної проникності матеріалу, що сепарується. Можливість розділення компонентів суміші визначається різницею діапазонів часу їх орієнтування. При повному неспівпаданні діапазонів можливе повне розділення. При перекритті діапазонів можливе тільки часткове розділення.

Напруженість електричного поля при розділенні вівса і вівсюга складає 420 кВ/м, діаметр отворів – 3 мм, частота коливань решета – 7,5 Гц, питоме навантаження на 1 м – 0,09 кг/с, ширина решета – 1 м, довжина – 3,3 м, кут нахилу – 2°. Випробування такого типу сепаратора показало можливість відділення вівсюга від вівса, тоді як інші види сепараторів не дозволяють робити таке розділення .

Сепарація насіння в електричному полі можлива завдяки напруженості поля, якщо решета коливаються в горизонтальній площині. Насіння в цьому випадку знаходиться весь час у контакті з решетом і заряджається контактним способом. Для ефективного процесу сепарації напруженість поля повинна

пульсувати з певною частотою, оскільки при постійній напруженості картина електричного поля в отворі решета така, що частинки затримуються в ньому.

Дрібне насіння з невеликою густиною, заряджене контактним способом, при певній напруженості поля може бути притягнуте до протилежно зарядженого електроду. Таким чином, з'являється можливість відокремити дрібне насіння і домішки сміття.

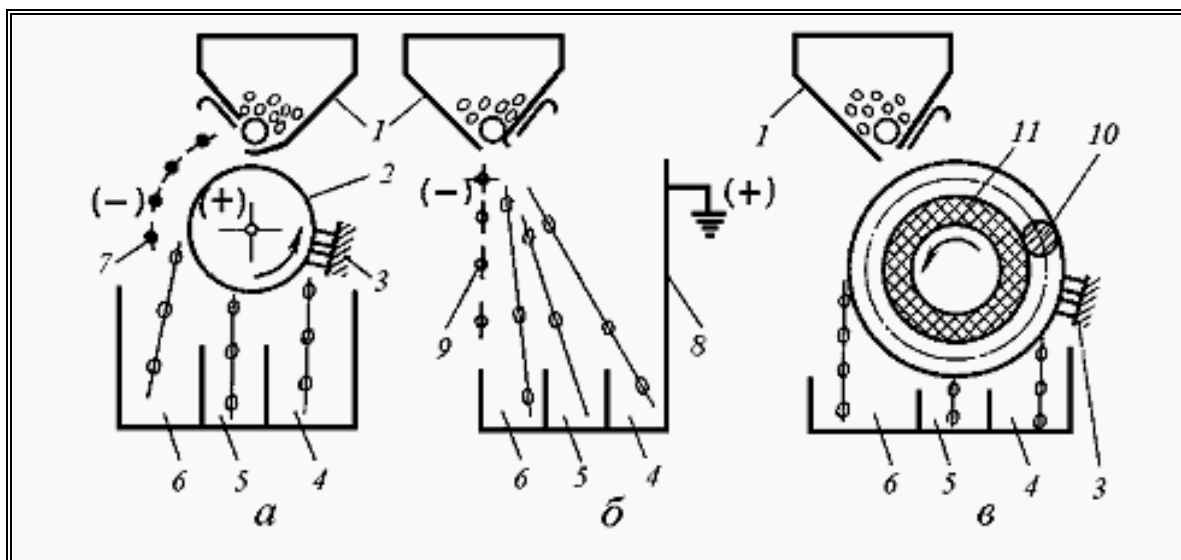


Рисунок 2.14 – Схеми пристроїв для сепарації зернових по електричним властивостям :
а – в статичному полі; б – в полі коронного розряду; в – за діелектричною проникністю

- 1 - бункер;
- 2 - барабан;
- 3 - щітка;
- 4, 5 і 6 - лотки;
- 7 – від'ємно заряджений електрод;
- 8 – коронуючий електрод;
- 9 - перфорований електрод;
- 10 - біфілярна обмотка;
- 11 - ізолятор.

Електростатичний метод сепарації зернових реалізований в пристрої (рисунок 2.14) відрізняється такими особливостями.

Матеріал зернових як показано на рисунку 2.14 а , поступає з бункера 1 на барабан 2 , що обертається. Барабан 2 має позитивний заряд внаслідок впливу високовольтної електродної системи 7.

Неоднаково заряджені частинки матеріалу зернових по-різному поведуться в електростатичному полі: частинки з більшою електропровідністю поступають в накопичуваний лоток 6, а з меншою – в

лоток 5. Від налипаючих частинок барабан очищається щіткою 3 і ці частинки попадають в лоток 4.

Сепарація у полі коронного розряду. Частіше для сепарації насіння використовується поле коронного негативного уніполярного розряду. При введенні в зону коронного розряду частинок останні набувають заряд іонів і переміщуються до заземленого електроду.

Граничний заряд для частинки еліпсоїдної форми визначається її розміром, формою, діелектричною проникністю і положенням відносно вектора напруженості поля.

Розділення в полі коронного розряду (рисунк 2.14 б) протікає в такій послідовності. Між коронуючим перфорованим 9 і заземленим 8 електродами при високій напрузі виникає коронний розряд, що іонізує повітря. Частинки, що поступають в іонізоване середовище, набувають різні за величиною заряди і завдяки цьому відхиляються на різні кути: частинки з меншою електропровідністю поступають в приймальний лоток 6, з більшою – в лоток 5.

Параметри поля і конструктивні дані :

- коронуючий електрод займає чверть кола барабана;
- робоча напруга $U = 20 \dots 50$ кВ;
- частота обертання $n = 20 \dots 80$ обертів за хвилину;
- струм корони $I = 0.1 \dots 1$ мА;
- радіус барабана $R_6 = 100 \dots 200$ мм;
- радіус дроту коронуючого електроду $r_0 = 0.15 \dots 0.25$ мм;
- міжелектродний проміжок $h = 80 \dots 100$ мм.

Коронні барабанні сепаратори застосовуються для очищення насіння зернових і овочевих культур, видалення домішок, травмованого і зіпсованого насіння, що має малу масу.

Діелектричні сепаратори. У цих пристроях використовуються дві сили електричної природи : пондеромоторну і силу електростатичної дії.

Діелектричний метод сепарації застосовують для зернових сумішей.

На рисунку 2.14в представлено діелектричний сепаратор барабанного типу. На барабан 11 з діелектричного матеріалу намотано одночасно два ізолюваних один від одного дроти 10, тобто виходить один шар обмотки з різнополюсними електродами, що чергуються (біфілярна обмотка). Діаметр дроту в ізоляції порівняний з розміром зерен, що сепаруються. Барабан обертається навколо своєї осі з регульованою частотою обертання. Живлення електродів змінною напругою до 5 кВ здійснюється від трансформаторів, розміщених усередині барабана. Напруга на первинні обмотки трансформатора подається через кільця і щітковий апарат.

Рівномірна подача зерна на барабан забезпечується вібратором. Кут відриву частинки від барабана залежить від властивостей частинки. Діелектричні сепаратори мають ряд переваг порівняно з коронними: працюють при вологості до 95 %, відносно низькій напрузі (від 200 до 5000 В).

Розглянуті діелектричні сепаратори мають наступні технічні дані: продуктивність – 100 ... 250 кг за годину, частота обертання барабана – 32 оберти за хвилину, напруга – 5 кВ, діаметр барабана – 400 мм.

Контрольні питання та завдання

1. Як класифікуються мінерали за електропровідністю?
2. У відповідності з якими характеристиками частинок може відбуватись їх розділення завдяки електростатичній сепарації?
3. Проаналізуйте сучасні методи електричної сепарації.
4. Дайте розгорнуту характеристику основним електричним силам , що супроводжують процес електричної сепарації.
5. Що визначає траєкторії руху частинок при електричному збагаченні?
6. Які основні операції включає підготовка вихідного матеріалу до електросепарації ?
7. В яких випадках проводять обробку поверхні матеріалів реагентами та подальше їх зволоження перед електросепарацією?
8. Охарактеризуйте особливості роботи електростатичного і коронного барабанних сепараторів.
9. Барабанні коронно-електростатичні сепаратори. Їх застосування, особливості конструкцій і роботи.
10. Розгляньте особливості роботи електросепараторів при розділенні титановмістних руд.
11. Трибоелектростатичні сепаратори – барабанні і флюїдизаційні.
12. Діелектрична сепарація та її електрофізичні особливості.
13. Дайте розгорнуту характеристику електричним методам сепарації, що застосовуються в агропромисловому комплексі.

3. МАГНІТНА СЕПАРАЦІЯ

3.1. Основи методу магнітної сепарації

Магнітна сепарація знайшла широке застосування для збагачення руд чорних, рідкісних і кольорових металів, видалення залізистих домішок з кварцевих пісків, абразивів, керамічної сировини, флюсів, ванадійвмісних шлаків і інших матеріалів, а також продуктів сільськогосподарського виробництва, харчової промисловості та побутових відходів.

Суть методу полягає у впливі на частинки компонентів матеріалу магнітної і механічних сил, в результаті якого частинки з відмінними магнітними властивостями набувають різні траєкторії руху. Це дозволяє магнітні частинки вихідного матеріалу концентрувати в окремий магнітний продукт, а немагнітні – в немагнітну фракцію. Характеристикою магнітного поля в робочому просторі є його напруженість – векторна величина, яка визначає значення й напрям магнітного поля в даній точці. За характером напруженості магнітні поля діляться на однорідні і неоднорідні (рисунок 3.1).

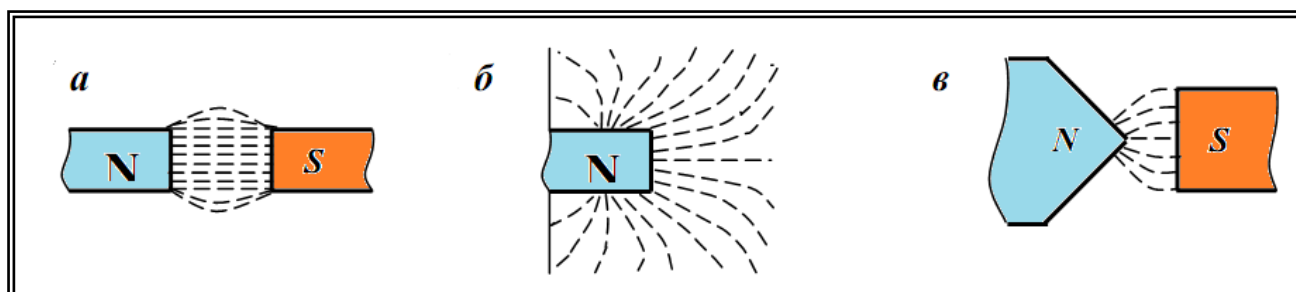


Рисунок 3.1 – Конфігурації магнітних полів: а – однорідне поле; б, в – неоднорідні поля

Розподіл мінералів в магнітному полі може здійснюватися завдяки реалізації наступних технологічних процесів :

- відхилення магнітної фракції;
- утримування магнітної фракції;
- витягання магнітної фракції.

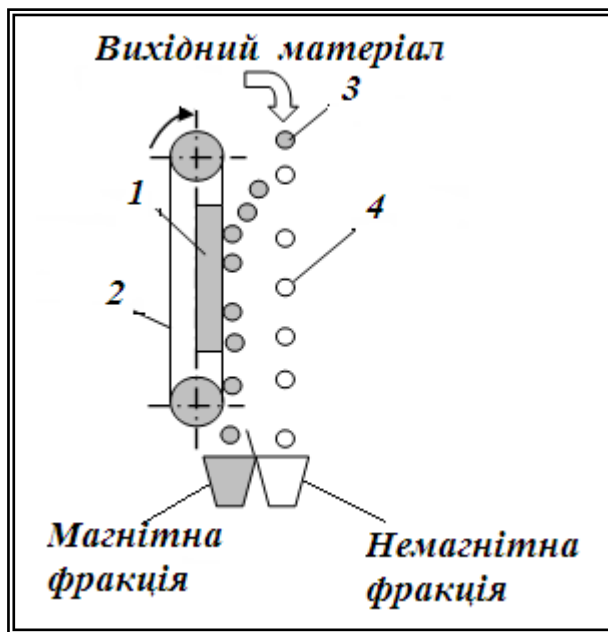


Рисунок 3.2 – Схема процесу відхилення:
1 – магнітна система;
2 – стрічка;
3 – магнітні частинки;
4 – немагнітні частинки;

Режим відхилення (рисунок 3.2.) застосовується порівняно рідко, він малоефективний, малопродуктивний.

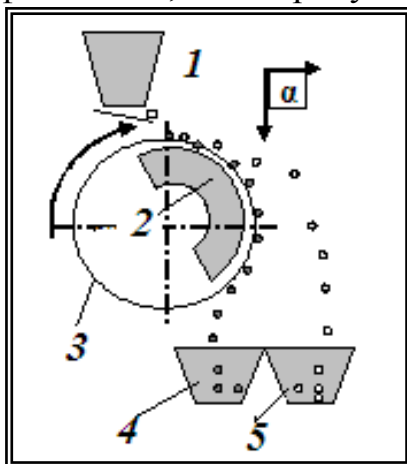


Рисунок 3.3 – Схема режиму утримування:
1 – бункер;
2 – магнітна система;
3 – барабан;
4 – магнітна фракція;
5 – немагнітна фракція

Режим утримування (подача матеріалу зверху), рисунок 3.3. – магнітна фракція утримується на робочому органі сепаратора (барабані), немагнітна скидається відцентровою силою з його поверхні. Характеризується великою продуктивністю, високим витяганням, але малою селективністю. Причина полягає в тому, що з внутрішнього шару матеріалу має місце утруднене скидання з барабану немагнітних частинок. Кут розкриття віяла продуктів – до 90° . Застосовується зазвичай при сухій сепарації сильномагнітних мінералів.

Режим витягання (подача матеріалу знизу) рисунок 3.4. – магнітна фракція витягається з матеріалу, що проходить під робочим органом сепаратора.

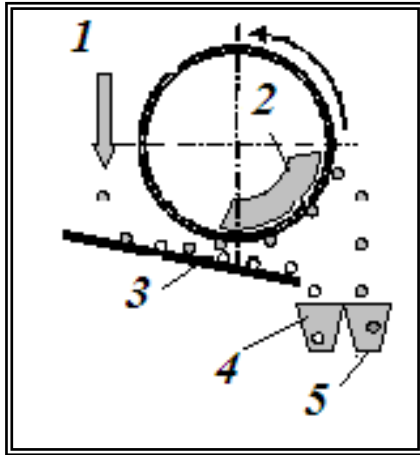


Рисунок 3.4 – Схема режиму витягання:

- 1 – вхідний матеріал;
- 2 – магнітна система;
- 3 – лоток;
- 4 – немагнітна фракція;
- 5 – магнітна фракція

Спосіб включає режими відхилення і утримування. Характеризується високою селективністю, але меншою продуктивністю. Застосовується при сухій і мокрій сепарації подрібнених руд. Є основним режимом збагачення магнетитових руд у водному середовищі.

Кут розкриття віяла продуктів – до 90°, при мокрому збагаченні – до 180°

3.1.1. Основні величини, що визначають поведінку речовин в магнітному полі

Основною характеристикою магнітного поля в даній точці простору є вектор магнітної індукції, значення силової дії якого визначається за формулою Ампера

$$d\vec{F} = I \left[\vec{dl} \cdot \vec{B} \right], \quad (3.1)$$

де $d\vec{F}$ – сила, діюча на елемент dl електричного струму I , Н; I – електричний струм, А ; dl – довжина елемента, направлено за напрямком струму $\vec{I}$, м; $\vec{B}$ – магнітна індукція, Т.

Одиницею магнітної індукції є Тесла; 1 Т – індукція такого поля, в якому на кожен метр розташованого перпендикулярно до поля провідника з електричним струмом 1 А діє сила 1 Н.

Іноді індукцію поля визначають числом силових ліній, що проходять через одиницю перпендикулярної до них площини. На ділянках, де поле сильніше, силові лінії згущуються.

Інтеграл вектору магнітної індукції $\vec{B}$ по деякій поверхні S називається магнітним потоком Φ

$$\Phi = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{s} \quad (3.2)$$

Відомо, що повний магнітний потік, що пронизує будь-яку замкнуту поверхню S , завжди дорівнює нулю

$$\Phi = \oint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0 \quad (3.3)$$

Вираз (3.3) формулює принцип безперервності магнітного потоку. Фізичний же сенс цього принципу полягає в тому, що лінії магнітної індукції не мають ні початку, ні кінця – вони безперервні. Це положення широко використовується при розрахунку магнітних полів.

Магнітний момент елементарного струму i

$$p_{mi} = i\Delta S, \quad (3.4)$$

де p_{mi} – магнітний момент, $A \cdot m^2$; i – елементарний струм, A ; ΔS – площа контуру струму, m^2 .

Напрямок вектору $\vec{p}_{mi}$ є перпендикулярним до площини ΔS та пов'язаний з напрямком струму (визначається за «правилом буравчика»).

Речовина, внесена в магнітне поле, набуває більш менш узгоджену орієнтацію елементарних струмів, внаслідок чого створюється додаткове магнітне поле, яке, накладаючись на зовнішнє, змінює його.

Результуючий магнітний момент $\vec{p}_m$ деякого об'єму речовини дорівнює геометричній сумі моментів елементарних струмів:

$$\vec{p}_m = \sum \vec{p}_{mi} \quad (3.5)$$

Намагніченістю речовини $\vec{J}$ називається магнітний момент одиниці його об'єму V . У загальному випадку

$$\vec{J} = \frac{d\vec{p}_m}{dV} . \quad (3.6)$$

Напруженістю магнітного поля називається векторна величина

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{J} , \quad (3.7)$$

де $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ – магнітна стала, Г/м.

Напруженість магнітного поля має наступну важливу властивість:

$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = \sum I_{BC} , \quad (3.8)$$

де $\oint \vec{H} \cdot d\vec{l}$ – інтеграл напруженості по будь-якому замкнутому контуру, А;

$d\vec{l}$ – довжина елементу контуру, м; $\vec{H}$ – напруженість магнітного поля, А/м;

$\sum I_{BC}$ – сума макроскопічних вільних струмів, що протікають в провідниках, що охоплюються контуром інтегрування, А.

Інтеграл напруженості магнітного поля уздовж будь-якого замкнутого контура, що дістав назву магніторушійної сили, визначається тільки макроскопічними струмами, що охоплюються контуром інтегрування, і не залежить від елементарних струмів речовини. Введення поняття напруженості магнітного поля дозволяє істотно спростити задачу розрахунку магнітних полів.

У кожній точці простору величини $\vec{H}$, $\vec{B}$ і $\vec{J}$ пов'язані наступними співвідношеннями :

$$\vec{B} = \mu_0 \mu \vec{H} = \mu_{abc} \vec{H} , \quad - \quad (3.9)$$

$$\vec{J} = \chi \vec{H} \quad J = \chi H , \quad (3.10)$$

де коефіцієнти пропорційності μ , $\mu_{abc} = \mu_0 \mu$ і χ – відносна магнітна

проникність, абсолютна магнітна проникність та магнітна сприйнятливість речовини.

З рівнянь (3.8) – (3.10) витікає, що

$$\mu = 1 + \chi. \quad (3.11)$$

Для магнітного поля у вакуумі $\vec{J} = 0$, тобто

$$\vec{H} = \vec{B} / \mu_0. \quad (3.12)$$

Отже, для вакууму $\chi = 0$, $\mu = 1$, $\mu_{\text{абс}} = \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Г/м.

Співвідношення, наведені вище, практично справедливі і для магнітного поля в повітрі і воді, тобто в середовищах, де здійснюється магнітна сепарація.

За сучасними уявленнями про природу магнітного поля, його фундаментальною характеристикою є магнітна індукція $\vec{B}$. Проте часто магнітне поле характеризують напруженістю $\vec{H}$ □, що використовується в більшості публікацій, присвячених магнітному збагаченню.

Надалі там, де це не має принципового значення, величини $\vec{H}$, $\vec{B}$ і $\vec{J}$ даватимуться без векторного позначення.

Магнітне поле називається однорідним, коли в усіх його точках напруженість H однакова за значенням і напрямком.

Магнітне збагачення відбувається, здебільшого, в неоднорідних полях, які створюються відповідною формою і розташуванням полюсів магнітної системи сепаратора.

Неоднорідність магнітного поля в даній його точці характеризується градієнтом його напруженості $\text{grad}H$, тобто вектором, що є похідною абсолютної величини напруженості в цій точці по напрямку її найбільшого збільшення.

Магнітна сила, діюча на частинку речовини, що знаходиться у воді або в повітрі, визначається за виразом:

$$\vec{F}_m = \mu_0 JV \vec{\text{grad}} H, \quad (3.13)$$

де J – середнє значення намагніченості речовини в об'ємі частинки, А/м;

V – об'єм частинки, м³; $\text{grad}H$ – градієнт напруженості магнітного поля, А/м².

Сумарне поле H_0 всередині тіла, поміщеного в зовнішнє магнітне поле H , відрізняється від зовнішнього поля і залежить від форми тіла :

$$H_0 = H - H_p, \quad (3.14)$$

де $H_p = NJ$ – розмагнічуюче поле тіла, А/м; N – розмагнічуючий чинник, який визначається за формою тіла і його розташуванням в магнітному полі.

Розмагнічуючий чинник є важливим параметром: він впливає на поведінку сильномагнітних частинок в присутності магнітного поля і в його відсутності.

Для нескінченно довгого стержня, вісь якого співпадає з напрямом напруженості H поля, $N = 0$; для нескінченно тонкого диска, розташованого перпендикулярно до напрямку напруженості H , розмагнічуючий чинник досягає свого максимального значення $N = 1$; для кулі $N = 1/3$. Таким чином, межі зміни розмагнічуючого чинника $0 \leq N \leq 1$. Для частинок магнетиту, зазвичай декілька витягнутих в одному напрямку, розмагнічуючий чинник можна в середньому прийняти рівним 0,16.

Стосовно тіла кінцевих розмірів, внесеного в магнітне поле, вирази (3.9) і (3.10) записуються в наступному вигляді:

$$B = \mu_0 \mu H = \mu_{\text{абс}} H_0; \quad J = \chi H_0. \quad (3.15)$$

З виразів (3.14) і (3.15) виходить, що

$$H_0 = H / (1 + N\chi); \quad (3.16)$$

$$J = \chi H / (1 + N\chi) = \chi_{\text{т}} H. \quad (3.17)$$

Магнітна сприйнятливість тіла

$$\chi_{\text{т}} = \chi / (1 + N\chi). \quad (3.18)$$

Величина $\chi_{\text{т}}$ дозволяє визначити намагніченість речовини тіла безпосередньо через напруженість зовнішнього поля.

Аналогічні вирази можна привести і для магнітної проникності речовини μ тіла μ_T :

$$\mu_T = \mu_0 \mu / [1 + N(\mu - 1)]. \quad (3.19)$$

Підставивши вираз (3.17) у формулу (3.13), отримаємо

$$\vec{F}_m = \mu_0 \chi_T JV \vec{\text{grad}} H, \quad (3.20)$$

У феромагнітних і парамагнітних речовин ($\chi_T > 0$) вектор $\vec{F}_m$ і вектор $\vec{\text{grad}} H$ спрямовані однаково, у діамагнітних речовин ($\chi_T < 0$) – мають протилежні напрями. Звідси питома магнітна сила, діюча на одиницю маси m частинки

$$f_m = F_m / m = \mu_0 (\chi_T / \delta) H \text{grad} H = \mu_0 X_T H \text{grad} H, \quad (3.21)$$

де $\delta = m / V$ – густина речовини тіла, кг/м³;

X_T – питома магнітна сприйнятливість тіла

$$X_T = \chi_T / \delta. \quad (3.22)$$

Величина $X = \chi / \delta$, за аналогією, називається питомою магнітною сприйнятливістю речовини. Величини X і X_T пов'язані співвідношенням

$$X_T = X / (1 + N\delta X). \quad (3.23)$$

Для слабوماгнітних речовин $\chi \ll 1$, тому вирази (3.18) і (3.23) для цих речовин спрощуються:

$$\chi_T \approx \chi; \quad X_T \approx X; \quad (3.24)$$

для сильномагнітних речовин при $\chi \gg 1$ вирази (3.18) і (3.23) мають вигляд

$$\chi_T = 1 / N; \quad X_T = 1 / N\delta. \quad (3.25)$$

Формула (3.21) є основою для розрахунку питомої магнітної сили, діючої на частинки в магнітному полі сепаратора. Для характеристики магнітних полів сепараторів введено поняття – умовна магнітна сила

$\mu_0 H \text{grad} H$, відповідна питомій магнітній силі f_m , діючій на частинку з питомою магнітною сприйнятливістю $X_T = 1 \text{ м}^3/\text{кг}$.

3.1.2. Явище рівнопритягання

Магнітне поле в робочому проміжку сепаратора дуже неоднорідне. При подачі в сепаратор руди з широким діапазоном крупності може виявитися, що магнітна сила, діюча на частинки найбільшого і найменшого діаметру, буде різна. Отже, якщо при сепарації в режимі витягання створити магнітну силу, достатню для притягання найдрібніших крупинок, що знаходяться в самому низу зони, то з такою ж силою, а може ще більшою, притягуватимуться і великі частинки, розташовані ближче до поверхні полюса, хоча і магнітні властивості у них нижчі.

Це явище, коли частинки різного діаметру і з різною магнітною сприйнятливістю притягуються з однаковою магнітною силою, називається рівнопритяганням .

Відношення діаметрів двох мінералів з різною магнітною сприйнятливістю що притягуються з однаковою магнітною силою називається коефіцієнтом рівнопритягання :

$$K_p = D/d.$$

Умову питомого рівнопритягання частинок можливо виразити:

$$\chi_1 (H \text{grad} H)_1 = \chi_2 (H \text{grad} H)_2 \quad (3.26)$$

Заходи боротьби з цим явищем – застосування ізодинамічного магнітного поля, де $H \text{grad} H = \text{const}$, або збагачувати вузькими класами крупності, заздалегідь класифікуючи початковий матеріал на класи крупності.

3.2. Магнітні властивості мінералів

При магнітній сепарації застосовують наступну класифікацію речовин за їх магнітними властивостями – діамагнітні , парамагнітні та феромагнітні матеріали .

Всі речовини, які поміщені в магнітне поле, набувають магнітних властивостей. Одні речовини послаблюють зовнішнє поле, а інші – підсилюють

його; перші називаються *діамагнетиками*, другі – *парамагнетиками*. Більшість речовин належить до діамагнетиків.

Діамагнетиками називають речовини, магнітні моменти атомів або молекул яких дорівнюють нулю, коли немає зовнішнього магнітного поля.

В цих речовинах спінові та орбітальні магнітні моменти електронів взаємно скомпенсовані.

Парамагнетиками називають речовини, які намагнічуються в зовнішньому магнітному полі в напрямку останнього і мають додатню магнітну сприйнятливість. Вони належать до слабо магнітних речовин.

Вище вказані типи речовин відрізняються тим, що при внесенні до зовнішнього магнітного поля парамагнітні зразки намагнічуються так, що їх власне магнітне поле виявляється направленим по зовнішньому полю, а діамагнітні зразки намагнічуються проти зовнішнього поля.

Зразки з пара- і діамагнетиками, поміщені в неоднорідне магнітне поле поведуться по різному : парамагнетики втягуються в область сильного поля, діамагнетики – виштовхуються (рисунок 3.5).

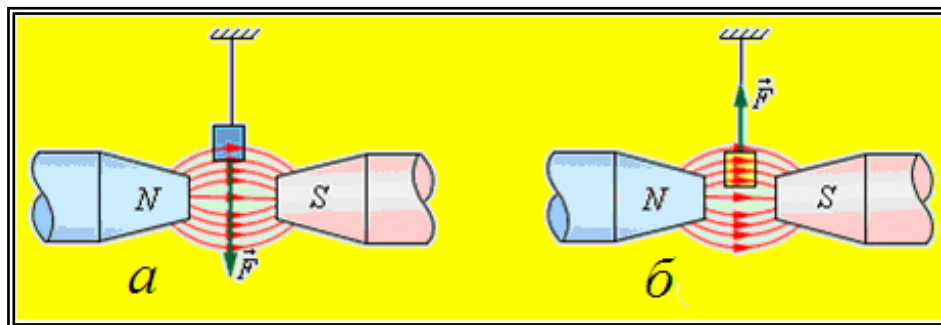


Рисунок 3.5 – Парамагнетик (а) і діамагнетик (б) в неоднорідному магнітному полі

Наприклад, вугільна речовина є діамагнітною, а мінеральні домішки в ній – парамагнітні.

Речовини, здатні сильно намагнічуватися в магнітному полі, називаються *феромагнетиками*. До даної групи відносяться такі хімічні елементи: залізо, нікель, кобальт, гадоліній. З них найбільшою магнітною проникністю володіє залізо. Тому вся ця група отримала назву феромагнетиків.

Феромагнетиками можуть бути різні сплави, що містять феромагнітні елементи. Широке застосування в техніці отримали керамічні феромагнітні матеріали – ферити.

Як показано на рисунку 3.6, первинне намагнічування сильномагнітної речовини відбувається по кривій OAD.

При циклічному перемагніченні, що відбувається у напрямку вказаному стрілками, крива намагнічення переходить у криву гістерезису. Крива гістерезису, отримана для умов магнітного насичення, називається граничною петлею.

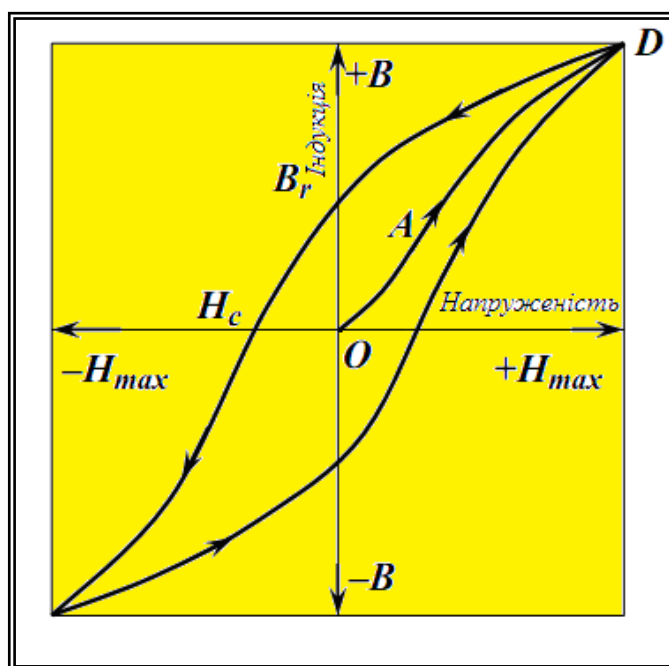


Рисунок 3.6 – Початкова крива намагнічування і петля гістерезису сильномагнітної (феромагнітної) речовини

Основні характеристики петлі гістерезису при дослідженнях зразка сильномагнітної речовини в замкненому магнітному циклі: залишкова індукція B_r і коерцитивна сила H_c . Залишкова індукція B_r свідчить про те, що елементарні струми у феромагнітному тілі при зникненні зовнішнього поля зберегли упорядковану орієнтацію. Коерцитивна сила H_c характеризує величину напруженості поля зворотного напрямку, яку необхідно створити, щоб залишкова індукція зникла і стала рівною нулю.

Якщо по осі ординат замість індукції відкласти значення намагніченості J_r , отримуємо петлю гістерезису намагніченості. За цією петлею можна визначити залишкову намагніченість J_r і коерцитивну силу H_c гістерезисної петлі намагнічення.

Чим більша коерцитивна сила, тим трудніше матеріал розмагнічується.

Магнітні властивості сильномагнітних речовин суттєво залежать від температури. При визначеній для кожної речовини температурі – точці Кюрі – сильномагнітні (ферромагнітні) властивості зникають і речовина стає парамагнітною.

Сильномагнітні мінерали витягають на магнітних сепараторах з відносно слабким магнітним полем з напруженістю до 120 кА/м. Ці мінерали мають питому магнітну сприйнятливості речовини $X > 4 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{кг}$. До них відносяться магнетит (штучний і природний), магеміт, титаномagnetит, франклініт і пірротин. Зустрічаються, проте, і слабомагнітні різновиди пірротина [10, 13].

Слабомагнітні мінерали витягають на магнітних сепараторах з сильним полем напруженістю 800-1500 кА/м і вище. Ця група включає мінерали з питомою магнітною сприйнятливості $X = (750 \div 10) 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$. До них відносяться оксиди, гідрооксиди і карбонати заліза і марганцю, ільменіт, вольфраміт, гранат, біотит та ін. Нижня межа питомої магнітної сприйнятливості мінералів, витягуваних на сепараторах з сильним полем, має тенденцію до пониження у міру вдосконалення конструкцій магнітних сепараторів.

Магнітні властивості слабомагнітних мінералів, на відміну від сильномагнітних, не залежать від форми частинок і напруженості поля, що намагнічує. Спостережувана в окремих випадках залежність питомої магнітної сприйнятливості різних слабомагнітних мінералів від напруженості поля пояснюється наявністю сильномагнітних включень.

Слабомагнітні мінерали, що піддаються магнітному збагаченню, як правило, є парамагнітними речовинами.

Немагнітні мінерали не витягають при магнітному збагаченні. Їх питома магнітна сприйнятливість $X < 10^{-7} \text{ м}^3/\text{кг}$. До таких мінералів відносяться кварц, кальцит, каситерит, апатит та ін.

Вплив магнітних властивостей мінералів на процес магнітного збагачення.

Для витягання сильномагнітних мінералів вибирають сепаратори із слабким полем, для слабомагнітних мінералів – сепаратори з сильним полем.

Поведінка суміші намагнічених частинок в магнітному полі і в його відсутності вивчена ще не повною мірою. Проте відомо, що при магнітному збагаченні сильномагнітних руд і матеріалів, окрім магнітної сприйнятливості частинок, важливу роль відіграють їх коерцитивна сила, залишкова індукція, розмагнічуючий чинник. Від цих параметрів залежать утворення флокул (об'єднання частинок в агрегати) в полі сепаратора або апарату, що намагнічує, і часткове збереження флокул після їх видалення з поля.

В результаті магнітної флокуляції прискорюється осадження частинок при знешламлюванні руди перед магнітним збагаченням.

Магнітна флокуляція негативно впливає на класифікацію пульпи в циклі подрібнення магнетитних руд, особливо в механічних класифікаторах, тому в циклах подрібнення сильномагнітних продуктів, що пройшли раніше через магнітне поле сепаратора або апарату, що намагнічує, зазвичай встановлюють розмагнічуючі апарати для дефлокуляції пульпи.

Розмагнічування тонких магнетитних концентратів перед їх фільтруванням сприяє зниженню вологості осаду і підвищує продуктивність фільтрів.

Утворення флокул з магнітних частинок при їх проходженні через робочу зону сепаратора сприяє отриманню бідніших за вмістом заліза залишків, особливо при мокрому збагаченні. Це пояснюється тим, що магнітна сприйнятливість флокул внаслідок меншого коефіцієнта розмагнічування вища, а опір водного середовища їх руху нижчий, ніж окремої частинки. На якості ж

магнітного концентрату утворення магнітних флокул позначається негативно, оскільки захоплюють і немагнітні частинки. Утворення флокул затруднює відділення відходів від чистих рудних частинок.

3.3. Магнітні поля сепараторів

Сепаратори з відкритими магнітними системами є багатополюсними системами. Магнітні полюси можуть розташовуватися по циліндричній поверхні або в площині (рисунок 3.7). У свою чергу, полюси можуть чергуватися по периметру робочого органу (наприклад, барабана) або вздовж певної вісі.

На характеристики магнітного поля багатополюсних систем крім магніторухійної сили (Ампер-витки) чинить вплив :

- S – крок полюсів;
- R – радіус робочого органу;
- відношення ширини полюса (b) до ширини паза (a);
- форма полюсів.

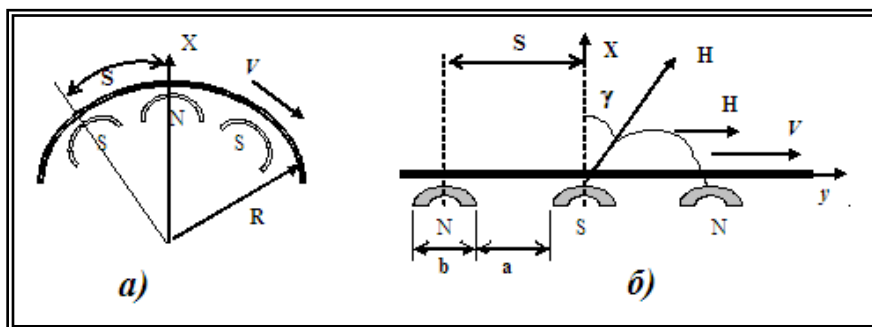


Рисунок 3.7 – До розгляду характеристик магнітного поля багатополюсних систем:

- а) схема розміщення полюсів по циліндричній поверхні;
б) – схема розміщення полюсів в площині

У сепараторах для збагачення сильномагнітних руд застосовуються зазвичай відкриті багатополюсні системи (рисунок 3.8, а), а в сепараторах для слабомагнітних руд – замкнуті магнітні системи (рисунок 3.8, б). Останні економічніше відкритих багатополюсних систем і дозволяють створювати поля великої напруженості. Проте використання замкнутих магнітних систем завжди пов'язане з небезпекою забивання робочої зони сепаратора флокулами сильномагнітних частинок.

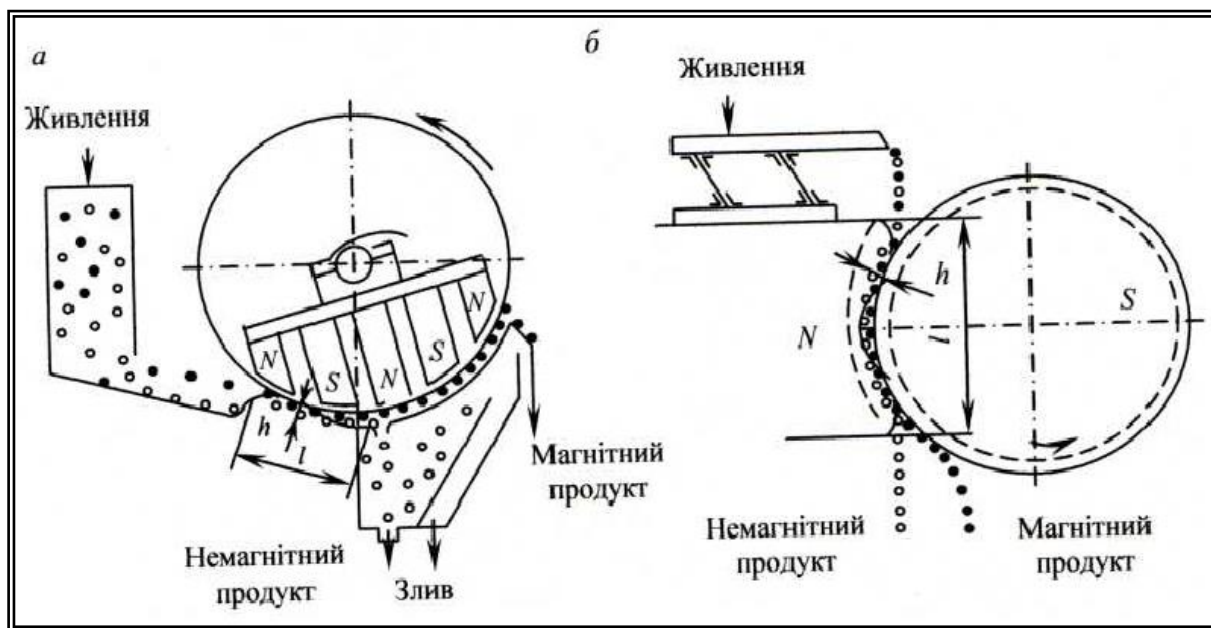


Рисунок 3.8 – Робочі зони сепараторів з відкритою багатополюсною магнітною системою (із слабким полем) та із замкнутою електромагнітною системою (з сильним полем): а – робоча зона барабанного сепаратора; б – робоча зона валкового сепаратора

Робочою зоною сепаратора називається ділянка, на якій відбувається тяжіння магнітних частинок до робочого органу сепаратора (барабану, диску, валку), їх утримування на робочому органі і транспортування при можливому видаленні захоплених немагнітних частинок .

Зона витягання характеризується довжиною l і висотою h (рисунок 3.8). Висота зони витягання визначається мінімальною відстанню між робочим органом сепаратора (барабаном, диском, валком) і транспортуючою поверхнею (конвеєрною стрічкою, вібрлотком) або поверхнею, що захищає потік матеріалу (дном ванни, нерухомим полюсом валкового сепаратора), що сепарується. Активною частиною зони витягання називається та її частина, в якій магнітна сила викликає переміщення магнітних частинок до робочого органу сепаратора (наприклад, ділянки робочої зони валкових сепараторів, розташовані поблизу вісі симетрії зубців валка; ділянки робочої зони барабанного сепаратора для мокрого збагачення, розташовані проти полюсів магнітної системи).

Сепаратори з низькою напруженістю поля для сильномагнітних руд мають робочу зону великої довжини і висоти і їх можна застосовувати при необхідності для збагачення руди з фрагментами до 100 мм (при сухому збагаченні).

Сепаратори з високою напруженістю поля для слабомагнітних руд мають робочу зону порівняно малої довжини і висоти, що викликано труднощами створення інтенсивного поля у великому об'ємі. У зв'язку з цим крупність великих частинок слабомагнітної руди, що збагачується на сепараторах з сильним полем, обмежена і не перевищує зазвичай 6 мм .

Зона транспортування є ділянкою, на якій здійснюється переміщення магнітного продукту робочим органом сепаратора до місця розвантаження і очищення магнітного продукту. *Магнітне поле сепараторів для сильномагнітних руд* . Сепаратори з відкритими магнітними системами мають ряд полюсів полярності, що чергуються, краї яких розташовані в площині (рисунок 3.9, а) або по циліндричній поверхні (рисунок 3.9, б), як, наприклад, у барабанних сепараторів. В останньому випадку полярність полюсів може чергуватися або по периметру барабана, або відносно його вісі.

Магнітне поле багатополюсних систем описується рівністю А.Я.Сочнева

$$H_x = H_0 \exp(-cx) = M \exp(-cx) / 2S, \quad (3.27)$$

де H_x - напруженість магнітного поля на відстані x від поверхні полюсів, А/м; H_0 - напруженість магнітного поля на поверхні полюсів, А/м; S – крок полюсів, відлічуваний по дузі радіусу $R_{ц}$, м; c – коефіцієнт неоднорідності поля, м⁻¹.

При розташуванні полюсів в площині

$$c = \pi/S; \quad (3.28)$$

при розташуванні полюсів на циліндричній поверхні

$$c = \pi/S + 1/R_{ц}. \quad (3.29)$$

Рівність (3.27) справедлива тільки для малих значень x ($(x/R_{ц}) < 0,2$) і для випадку, коли магнітне поле створюється полюсами особливої форми.

Практично краї полюсних наконечників закругляють по дузі радіусу $(0,4-0,6) S$. Для цих випадків вираз (3.27) має наближений характер.

Для електромагнітних систем, а також для систем з литих магнітів, що мають велику залишкову індукцію з відносно малою коерцитивною силою, близькі значення напруженості поля над серединами полюсів і проміжків між ними забезпечуються при відношенні ширини полюса до міжполюсного проміжку близько 1,2.

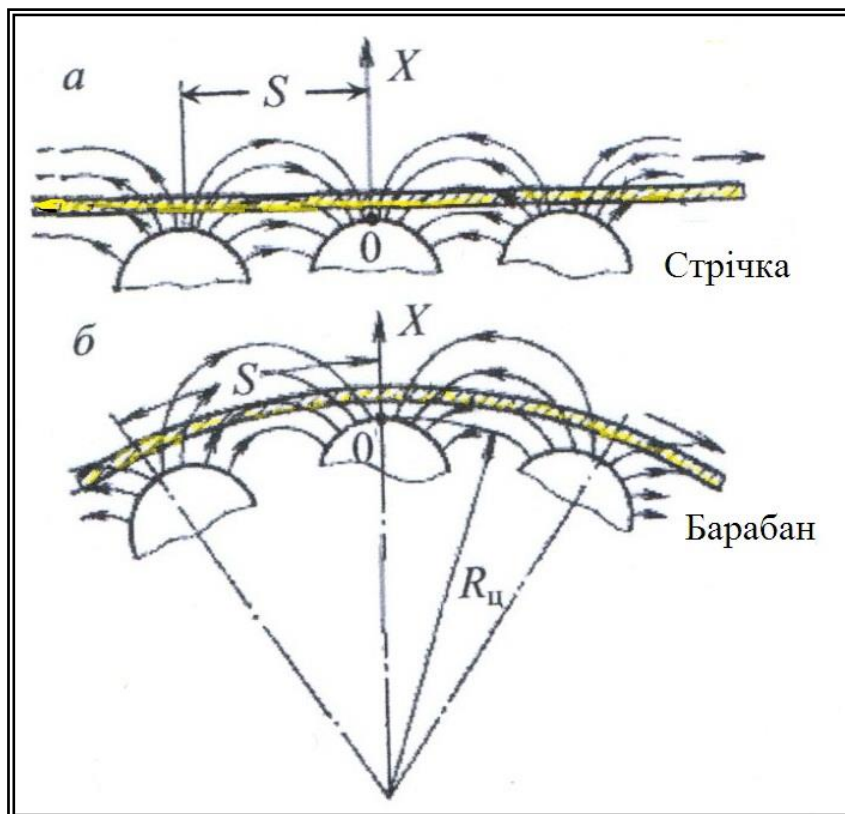


Рисунок 3.9 – Магнітне поле відкритої багатополюсної магнітної системи при розташуванні полюсів в площині (а) і по циліндричній поверхні (б)

Для магнітних систем з анізотропного фериту барію, що характеризується відносно малою залишковою індукцією і великою коерцитивною силою, проміжок між полюсами прагнуть звести до мінімуму.

Умовна магнітна сила на відстані x від поверхні полюсів визначається із рівності

$$\mu_0(H \text{grad} H)_x = \mu_0 H_0^2 \exp(-2cx) = \mu_0 c H_x^2. \quad (3.30)$$

З рівності (3.30) видно, що значення $\mu_0 H \text{grad} H$ різко падає з віддаленням від поверхні полюсів, причому тим швидше, чим більше коефіцієнт неоднорідності c . Оскільки c залежить головним чином від кроку полюсів S (див. рівності (3.27) і (3.28)), остання і визначає глибину поля сепаратора. Крок полюсів визначається верхньою межею крупності d' збагачуваної руди або висотою h зони витягання і подачею живлення – верхньою (рисунок 3.10, а) або нижньою (рисунок 3.10, б), і складає при розташуванні полюсних наконечників в площині

$$S \approx \pi(d' + 2\Delta) = 2\pi(h + \Delta), \quad (3.31)$$

де Δ – відстань від поверхні полюсів до шару руди або пульпи, м.

При розташуванні полюсних наконечників на циліндричній поверхні

$$\begin{aligned} S &\approx [\pi R_{\text{ц}}(d' + 2\Delta)] / [R_{\text{ц}} - (d' + 2\Delta)] = \\ &= [2\pi R_{\text{ц}}(h + \Delta)] / [R_{\text{ц}} - 2(h + \Delta)], \end{aligned} \quad (3.32)$$

відповідно до рисунку 3.10, а та рисунку 3.10, б.

Біжуче магнітне поле сепараторів для сильномагнітних руд. При переміщенні барабана або стрічки з магнітним матеріалом відносно багатополюсної магнітної системи відбувається переорієнтація флокул з магнітних частинок з частотою

$$f = v/2S, \quad (3.33)$$

де v – швидкість переміщення барабану або стрічки відносно полюсів магнітної системи, м/с.

Таким чином в будь-якій точці на поверхні барабана багатополюсної системи (див. рисунок 3.10) створюється біжуче поле, з частотою f , що визначається за рівністю (3.33).

При звичайній швидкості обертання барабана (1-2 м/с) і кроці полюсів магнітної системи $S = 15...20$ см частота поля мала і складає всього 2-7 Гц. При малій частоті поля відбувається тільки переорієнтація і частковий розрив найбільш довгих флокул.

Цього недостатньо для повного видалення частинок, що заплуталися між магнітними флокулами. Із збільшенням частоти поля зменшується довжина флокул, і, при досить великій частоті відбувається їх руйнування, що сприяє підвищенню якості концентратів. Біжуче магнітне поле, може створюватися і електромагнітною системою трифазного струму та сприяти, завдяки цьому, підвищенню якості концентратів.

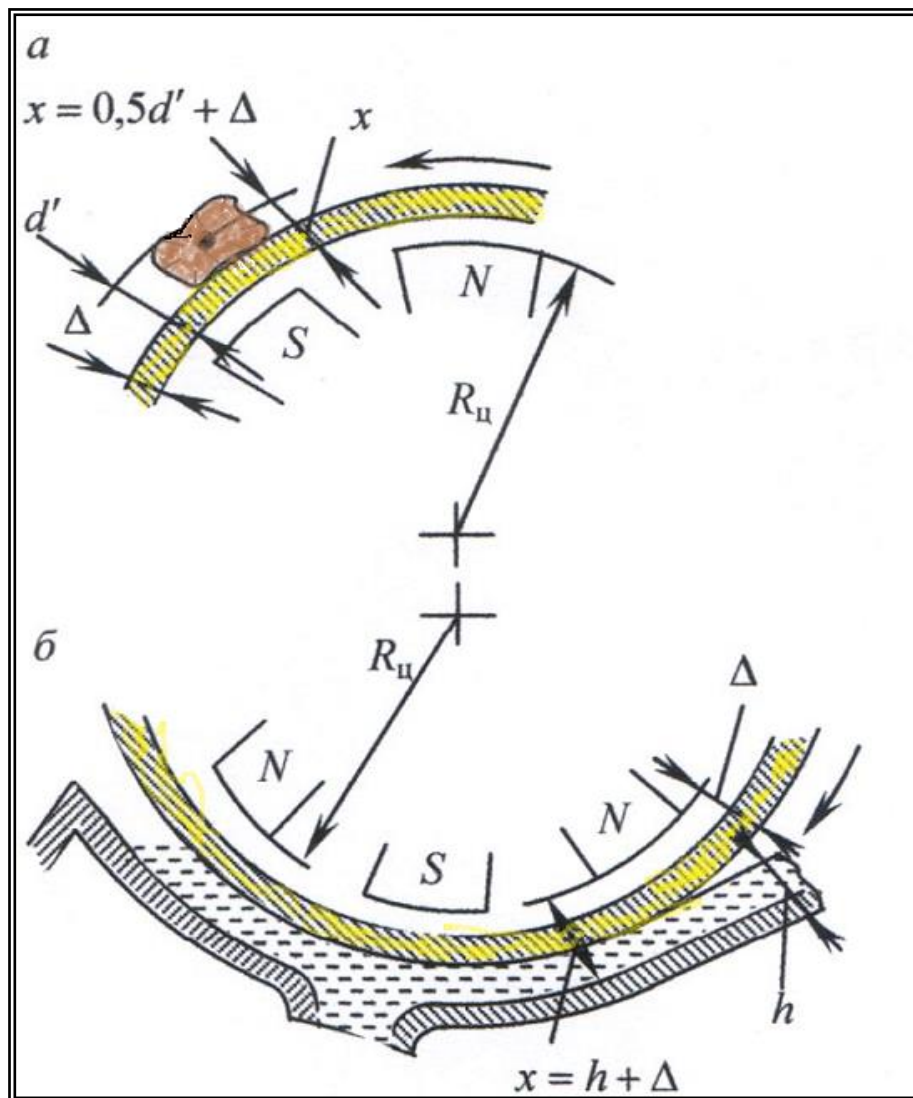


Рисунок 3.10 – Взаємне розміщення магнітної системи і барабана при верхньому (а) і нижньому (б) живленні

Магнітне поле сепараторів для слабомагнітних руд. Слабомагнітні руди можна збагачувати при дуже великому значенні умовної сили магнітного поля $\mu_0 H \text{grad} H$, що перевищує $1,5 \cdot 10^8 \text{ кг} \cdot \text{м} / \text{с}^2$. Значення $\mu_0 H \text{grad} H$ великою мірою

залежить від форми полюсів і їх розмірів. Тому правильний їх вибір грає тут значно більшу роль, ніж в сепараторах із слабким магнітним полем для сильномагнітних руд.

Теоретичні і експериментальні дослідження магнітного поля дозволили встановити деякі якісні залежності. При поєднанні плаского і багатозубчатого полюсів поле неоднорідне лише поблизу зубців, а з наближенням до плаского полюса стає близьким до однорідного. Заміна плаского полюса полюсом жолобчастим істотно підвищує неоднорідність усього поля, збільшуючи значення умовної магнітної сили $\mu_0 H_{grad} H$.

3.4. Продуктивність сепараторів і чинники, що впливають на процес магнітної сепарації

При магнітному збагаченні руд розрізняють максимально допустиму і фактичну продуктивність сепараторів .

Під максимально допустимою продуктивністю сепаратора розуміють найбільшу продуктивність, яка забезпечує позитивні результати розділення руди, під фактичною – продуктивність, яка визначається конкретними умовами його установки на підприємстві. Максимально допустима продуктивність сепаратора визначається:

- витягаючою здатністю сепаратора (здатністю витягати магнітні частинки з шару або потоку матеріалу за час проходження руди через зону витягання);
- транспортуючою здатністю сепаратора (здатністю робочого органу транспортувати магнітні продукти із зони витягання до місця розвантаження);
- пропускною спроможністю сепаратора, що характеризується максимальною кількістю матеріалу, яку сепаратор здатний пропустити в одиницю часу.

Перераховані вище критерії продуктивності сепараторів знаходяться в тісному взаємозв'язку і визначаються впливом значної кількості чинників, залежних від

особливостей збагачуваних матеріалів і конструктивних параметрів сепараторів.

Витягаюча здатність сепаратора при сухому і мокрому магнітному збагаченні, в основному, залежить від умовної магнітної сили, крупності частинок, магнітної сприйнятливості магнітних частинок і утримування їх в початковому матеріалі, довжини і глибини зони витягання і сил опору руху магнітних частинок до робочого органу.

Транспортуюча здатність сепаратора залежить від окружної швидкості обертання робочого органу (барабана, валка) і максимально можливого навантаження магнітного продукту на одиницю поверхні робочого органу.

Остання залежить від конструкції робочого органу і магнітної сили, що утримує магнітний продукт на його поверхні. При сухому збагаченні транспортуючу здатність сепаратора по магнітному продукту можна регулювати в широких межах, змінюючи швидкість обертання барабана або валка. При мокрому збагаченні транспортуюча здатність сепараторів обмежена, оскільки збільшення окружної швидкості обертання робочих органів понад 1,4 м/с викликає надмірну турбулентність потоку пульпи в робочій зоні і значні забруднення магнітного продукту немагнітними частинками.

Пропускна спроможність сепаратора визначається довжиною, висотою і шириною робочої зони та швидкістю переміщення матеріалу через неї. При сухому збагаченні швидкість переміщення матеріалу через робочу зону залежить від конструкції транспортуючих пристроїв і робочої зони, швидкості обертання робочого органу та фізичних властивостей оброблюваних матеріалів. При мокрому збагаченні (у режимі часткового занурення барабана або валка в пульпу) ця швидкість в основному визначається натиском пульпи на вході в робочу зону і гідравлічним опором робочої зони. Нині немає точних математичних формул, що враховують усі перераховані чинники, для встановлення максимально допустимої продуктивності сепараторів.

У промисловій практиці максимально допустима продуктивність сепараторів зазвичай визначається дослідним шляхом.

3.5. Конструкції магнітних сепараторів

3.5.1. Еволюція конструкцій магнітних сепараторів

Магнітні сепаратори – машини і апарати, в яких здійснюється процес магнітної сепарації. Відомі сотні конструкцій машин і апаратів, що реалізують різні процеси магнітного розділення частинок сильномагнітних руд .

Перші спроби застосування постійних магнітів для збагачення магнетитових руд відносяться до кінця XVII ст. При обробці каситериту, забрудненого залізом, яке не відділялося при промиванні руди, застосовували ручні магніти. Дещо пізніше технологію магнітної сепарації реалізовували у водному середовищі на апараті, сконструйованому на кшталт шлюзу із спеціальним покриттям. Залізний мінерал, притягуючись до укріпленого над шлюзом магніта, змивався водою, тоді як каситерит залишався на дні.

У 1792 р. в Англії був узятий патент на сепарацію залізняку за допомогою магніта.

В 1854 р. був запропонований магнітний сепаратор з полюсами полярності, що перемежалася, по шляху руху матеріалу.

У 1855 р. в Сардинії було вперше запропоновано для створення магнітного поля застосовувати електромагніти.

В 1890 р. в Америці був створений барабанний електромагнітний сепаратор з полюсами полярності, що перемежалася. Трохи пізніше була запропонована конструкція стрічкового сепаратора для сухої сепарації дрібного сильномагнітного матеріалу.

В 1906 р. почав впроваджуватися в промисловість барабанний сепаратор для мокрої сепарації сильномагнітних руд.

В 1920 р. винайдений стрічковий сепаратор для мокрої сепарації частково окислених сильномагнітних руд.

В 1934 р. був запропонований стрічковий сепаратор з нижньою подачею матеріалу для мокрої сепарації сильномагнітних руд, що набув надалі широкого поширення.

Технологія електромагнітної сепарації в застосуванні до слабوماгнітних руд почала розвиватися дещо пізніше. У 90-х роках XIX ст. було запропоновано використовувати для створення потужних магнітних полів поєднання плаского і протиставленого йому загостреного полюса. Це поєднання полюсів застосовується до теперішнього часу в багатьох конструкціях сепараторів для слабوماгнітних руд.

В 1905–1906 роках з'явилася конструкція кільцевого сепаратора, придатного для сухої і мокрої сепарації. У 20-х роках почав впроваджуватися в практику індукційно-роликовий сепаратор для слабوماгнітних руд.

У першій половині XX століття були широкорозповсюджені електромагнітні стрічкові сепаратори для сильномагнітних руд, а також індукційно-роликові та дискові – для слабوماгнітних руд. В зв'язку зі зростанням вимог до якості, стрічкові сепаратори стали замінювати барабанними.

В 60-ті роки XX століття почали інтенсивно використовувати сепаратори з постійними магнітами, а індукційно-роликові сепаратори почали замінювати валковими і роторними.

В теперішній час отримали подальше розповсюдження сепаратори з постійними магнітами, причому магніти на основі фериту барія, а також сплави АЛНІ замінюють феритами стронція, самарій-кобальтовими та залізнеодимовими магнітами, які забезпечують створення сильних полів з індукцією ~ 1 Т.

В світі посилено розвивається розробка сепараторів з надпровідними соленоїдами із Nb–Ti та Nb₃–Sn, матеріалів, які надійно працюють при використанні гелійових криостатів в режимі «замороженого струму» (без використання зовнішньої енергії).

В теперішній час великі перспективи відкриваються з появою високотемпературних керамічних надпровідників, критична температура яких з запасом перевищує температуру кипіння рідкого азоту, що принципово змінює економічні показники надпровідних пристроїв. Витрати на підтримку відповідної необхідної низької температури знижені в 50- 100 раз.

З часу відкриття надпровідності критична температура завдяки освоєнню високотемпературних надпровідників підвищена з 30 K до 130 K .

Застосування високотемпературних надпровідників дозволить різко зменшити масу сепараторів, витрати електроенергії, збільшити глибину магнітного збагачення до субмікронної крупності.

3.5.2. Класифікація конструкцій магнітних сепараторів

Сепаратори складаються з наступних основних вузлів: магнітної або електромагнітної системи, живильника або живлячого короба, робочого органу (барабана, валка, диска і тому подібне), призначеного для витягання магнітного продукту і його видалення з робочої зони, кожуха або ванни з відділеннями для магнітного і немагнітного продуктів та пульта управління (за наявності електромагнітної системи).

Відповідно за напруженістю та силою магнітного поля магнітні сепаратори розділяють на дві групи:

1) сепаратори зі слабким магнітним полем ($H = 80\text{--}120\text{ кА/м}$), призначені для збагачення сильномагнітних руд (магнетитових) та регенерації феромагнітних суспензій (магнетитових, феросиліцієвих). Створення магнітного поля у цих сепараторах здійснюється відкритими магнітними системами з постійними магнітами. Неоднорідність поля досягається чергуванням декількох полюсів різнойменної полярності.

2) сепаратори з сильним магнітним полем ($H = 600\text{--}1600\text{ кА/м}$), призначені для вилучення з руд слабомагнітних мінералів (лімоніту, сидериту,

манганіту, піролюзиту та ін.). Для створення сильних магнітних полів у сепараторах використовують замкнені електромагнітні системи.

Замкнені магнітні системи більш економічні, ніж відкриті, однак використання замкнених магнітних систем завжди пов'язане з небезпекою забивання робочої зони сепаратора флокулами сильномагнітних частинок.

В залежності від середовища, що використовується для збагачення, сепаратори обох груп розділяються на сухі та мокрі.

Сепаратори для мокрого збагачення, залежно від напрямку руху живлення та способу видалення продуктів сепарації, розділяють на :

- прямотечійні, де живлення і немагнітний продукт переміщуються в одному напрямку, а магнітні – відхиляються на кут $\alpha < 90^\circ$;

- протитечійні, де живлення і немагнітний продукт переміщуються у одному напрямку, а магнітні – у протилежному, кут відхилення між напрямками руху магнітного і немагнітного продуктів складає $\alpha > 90^\circ$;

- напівпротитечійні, де живлення подається у ванну знизу під тиском, а магнітний і немагнітний продукти переміщуються у протилежних напрямках, кут відхилення між напрямками руху магнітного і немагнітного продуктів складає $\alpha > 90^\circ$.

За конструкцією робочого органа сепаратори, що використовують для магнітного збагачення, розділяють на барабанні, валкові, дискові та ін.

Розділення частинок збагачуваного матеріалу за магнітною сприйнятливістю здійснюється в робочій зоні сепаратора, в якій магнітні частинки притягуються до робочого органу (барабана, валка, диска), тут же відбувається їх утримання на робочому органі і транспортування при можливому видаленні немагнітних частинок. Робоча зона є зоною корисної дії магнітного поля сепаратора і складається, у загальному випадку, з зони вилучення магнітних частинок і зони їхнього транспортування.

Сепаратори з низькою напруженістю магнітного поля для сильномагнітних руд мають робочу зону більшої довжини і висоти, і їх можна при необхідності застосовувати для збагачення руд крупністю до 100 мм (при

сухому збагаченні).

Сепаратори з високою напруженістю магнітного поля для слабомагнітних руд мають робочу зону порівняно малої довжини і висоти, тому що важко створити інтенсивне поле у великому об'ємі. У зв'язку з цим крупність частинок слабомагнітних руд, які збагачуються в сепараторах з сильним полем, обмежена і не перевищує 5 – 6 мм.

Зона транспортування являє собою ділянку, на якій здійснюється переміщення магнітного продукту робочим органом до місця розвантаження та очистка магнітного продукту.

3.5.3. Барабанні магнітні сепаратори

Барабанні сепаратори широко використовуються в практиці збагачення магнетитових руд та для регенерації феромагнітних обважнювачів при збагаченні у важких суспензіях. Барабани сепараторів виготовлені з немагнітного матеріалу, а багатополюсна відкрита магнітна система – із спеціальних магнітно-жорстких матеріалів або з електромагнітів.

Напруженість магнітного поля в робочому зазорі коливається в межах 80 – 150 кА/м. Магнітна система фіксується у визначеному положенні і в процесі роботи сепаратора (при обертанні барабана) залишається нерухомою. У більшості сепараторів полюси магнітної системи чергуються у напрямку руху матеріалу в робочому зазорі.

Сепаратори, у яких чергування полюсів виконано у напрямку руху матеріалу (вздовж робочого зазору), називаються сепараторами з магнітним перемішуванням. Ефект магнітного перемішування матеріалу в робочому зазорі може бути також досягнутий в пульсуючому полі, що створюється електромагнітними системами.

У сепараторів без магнітного перемішування застосовується електромагнітна система з полюсами у вигляді сталевих секторів, полярність яких чергується вздовж вісі барабана. Між полюсами розміщуються котушки обмоток, на які подається постійний струм.

Схеми барабанних сепараторів наведені на рисунку 3.11.

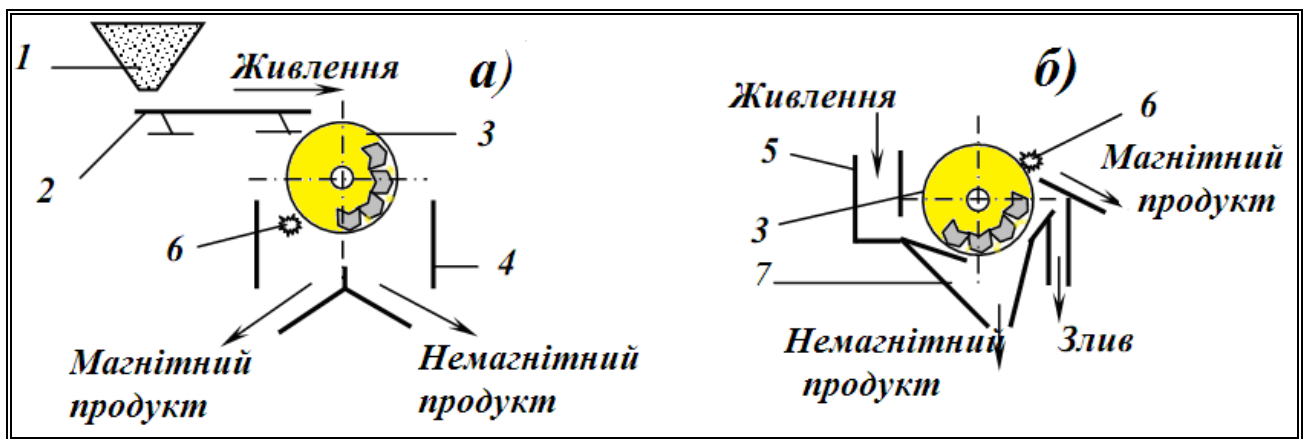


Рисунок 3.11 – Схеми барабанних магнітних сепараторів.

а – для сухого збагачення;

б – для мокрого збагачення.

1 – бункер руди; 2 – живильник; 3 – робочий орган (барабан);

4 – розвантажувальний короб; 5 – завантажувальний короб;

6 – щітка; 7 – ванна.

Вихідне живлення в робочу зону сепараторів 3 для сухого збагачення подається переважно механічними живильниками 2, для мокрого – через завантажувальний короб 5. В сепаратори для сухого збагачення живлення подається на барабан, а в сепаратори для мокрого збагачення – під барабан.

В робочій зоні магнітні частинки притягуються до барабана і виносяться ним з сепаратора у збірник для концентрату. Немагнітні частинки розвантажуються під дією власної ваги у збірник для відходів. Для збирання та розвантаження продуктів сепарації при сухому збагаченні служить короб 4 з розподільними шиберами, а при мокрому – ванна 7. Магнітний продукт з барабанів знімається щіткою 6 або шкребком.

За призначенням барабанні сепаратори зі слабким полем розділяють на сепаратори для сухого збагачення грудкового матеріалу крупністю до 50 мм, відцентрові (швидкісні) сепаратори для сухого збагачення дрібних продуктів крупністю до 3 мм, сепаратори для мокрого збагачення дрібних продуктів крупністю до 5 – 6 мм та сепаратори для регенерації феромагнітних обважнювачів крупністю до 1мм.

Електромагнітний сепаратор ПБСЦ-63/50 (рисунок 3.12) з верхньою подачею живлення призначений для сухого магнітного збагачення зернистих сильномагнітних руд і знезалізнення немагнітних матеріалів. Напруженість магнітного поля сепаратора регулюється і складає до 104 кА/м.

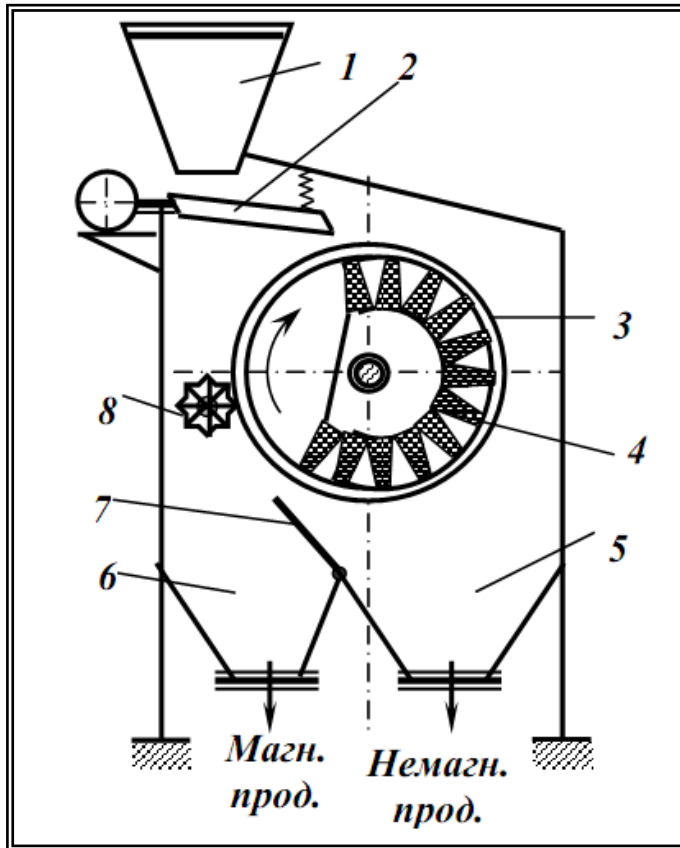


Рисунок 3.12 – Схема барабанного магнітного сепаратора ПБСЦ – 63/50.

- 1 – бункер;
- 2 – віброживильник;
- 3 – обертовий барабан;
- 4 – магнітна система;
- 5 – збірник немагнітного продукту;
- 6 – збірник магнітного продукту;
- 7 – регулювальний шибер;
- 8 – щітка.

Після встановлення необхідної для розділення напруженості магнітного поля, матеріал з бункера 1 за допомогою віброживильника 2 рівномірно подається на обертовий барабан 3, всередині якого знаходиться нерухома магнітна система 4. Немагнітна фракція під дією відцентрових сил скидається у збірник 5, а магнітна – знімається шкребком або щіткою 8 у збірник 6. Для регулювання розділення потоків продуктів слугує шибер 7.

Сушу магнітну сепарацію застосовують для збагачення зернистих магнетитових і титаномagnetитових руд з крупновкрапленою пустою породою, а також руди рідкісних металів. Метою використання сухої магнітної сепарації є одержання відвальних відходів. Чорновий концентрат сухої магнітної сепарації (промпродукт) направляють на подрібнення та подальшу мокру магнітну сепарацію.

Електромагнітні барабанні сепаратори ЕБМ-80/170 і ЕБМ-80/250 (рисунок 3.13) з нижньою подачею живлення та прямоточною ванною застосовуються для регенерації феромагнітних обважнювачів і збагачення тонковкраплених магнетитових руд. Напруженість магнітного поля сепаратора регулюється і складає до 110 кА/м.

Напруженість магнітного поля вибирається за умов отримання найбільш чистої магнітної фракції з мінімальними втратами магнітних компонентів. Частота обертання робочого органа сепараторів залежить від вмісту магнітних мінералів в руді, потрібної продуктивності та необхідної якості продуктів сепарації.

Важливу роль у процесі магнітної сепарації відіграє водний режим. Водний режим при роботі сепаратора регулюється висотою зливного порогу та подачею промивної води. Для одержання більш чистого магнітного і немагнітного продукту у концентраційне відділення або ванну для немагнітного продукту подають промивну воду. Швидкість розвантаження продуктів сепарації та об'єм води, що подається у магнітні сепаратори, регулюються розмірами розвантажувальних насадок.

Валкові і рідше – дискові сепаратори застосовуються для збагачення слабوماгнітних руд корінних і розсипних родовищ, а також видалення залізних домішок з скляної, керамічної та абразивної сировини. Характерною особливістю цих машин є наявність замкненої електромагнітної системи, що створює в зазорі поблизу зубців робочого органу (валок, ролик, диск) поле великої напруженості ($H = 800 - 1600$ кА/м).

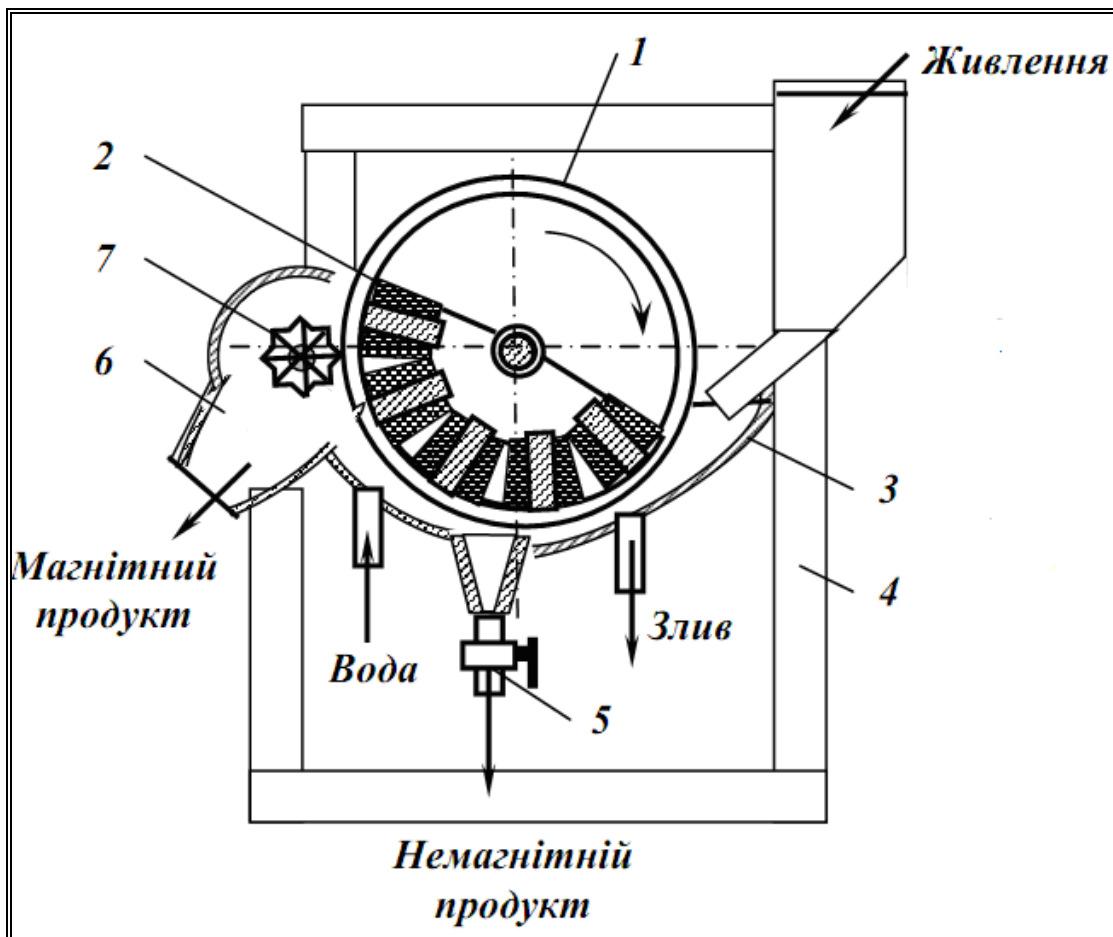


Рисунок 3.13 – Схема електромагнітного барабанного сепаратора типу ЕБМ:

- 1 – барабан;
- 2 – електромагнітна система;
- 3 – ванна;
- 4 – рама;
- 5 – насадка для випуску немагнітного продукту;
- 6 – розвантажувальний жолоб;
- 7 – щітка.

3.5.4. Валкові сепаратори

Валкові сепаратори застосовуються для сухого та мокрого збагачення руд корінних і розсипних родовищ крупністю до 5 мм . Схема валкового сепаратора наведена на рисунку 3.14.

Сепаратори цього типу складаються з електромагнітної системи, валків 1, завантажувальних та розвантажувальних пристроїв. Електромагнітна система складається з магнітопроводу 2 та обмоток 3. Замикання магнітного потоку відбувається через валок у радіальному напрямку. Число валків залежно від типорозміру та призначення сепаратора може бути 2, 4 або 6.

Вхідний матеріал подається в зазор між валками та полюсними накінецьниками. В сепаратор для сухого збагачення матеріал подається живильником, а в сепаратор для мокрого збагачення – через завантажувальний короб.

В робочій зоні магнітна фракція притягується до виступів валка і при його обертанні виноситься за межі дії поля (розвантажується з сепаратора). Немагнітний продукт рухається по виїмках в полюсних накінецьниках та через щілини в них під дією власної ваги направляється у розвантажувальний короб.

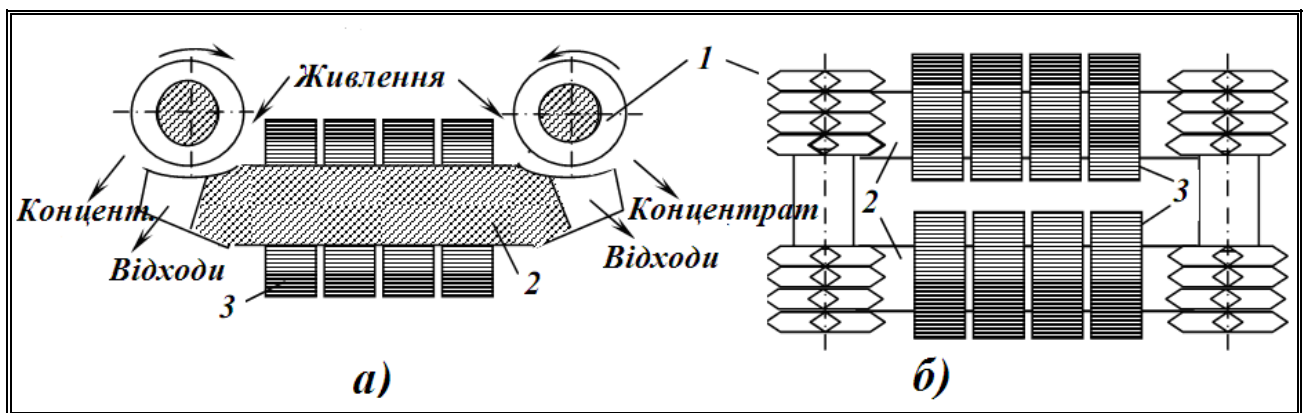


Рисунок 3.14 – Схема валкового електромагнітного сепаратора:

а) – сепаратор, б) – магнітна система;

1 – валки, 2 – магнітопровід, 3 – обмотки електромагніту.

3.5.5. Діскові сепаратори

Діскові сепаратори застосовують для доводки концентратів руд рідкісних металів, вольфраму та деяких інших матеріалів. Вони забезпечують одержання високих якісних показників, але продуктивність їх дуже мала (практично не перевищує 0,25 т/год) .

Дісковий сепаратор (рисунок 3.15) складається з двох дисків 1 діаметром 600 мм, магнітопроводу 2 з обмотками 3, живильника 4 та вібраційного лотка 5 шириною 400 мм. Диски виготовляються з маловуглецевої сталі і розташовуються над полюсними накінецьниками. Між накінецьниками та дисками знаходиться вібраційний лоток, що виготовляється з немагнітних матеріалів. Замикання магнітного потоку відбувається через диски у осьовому напрямку.

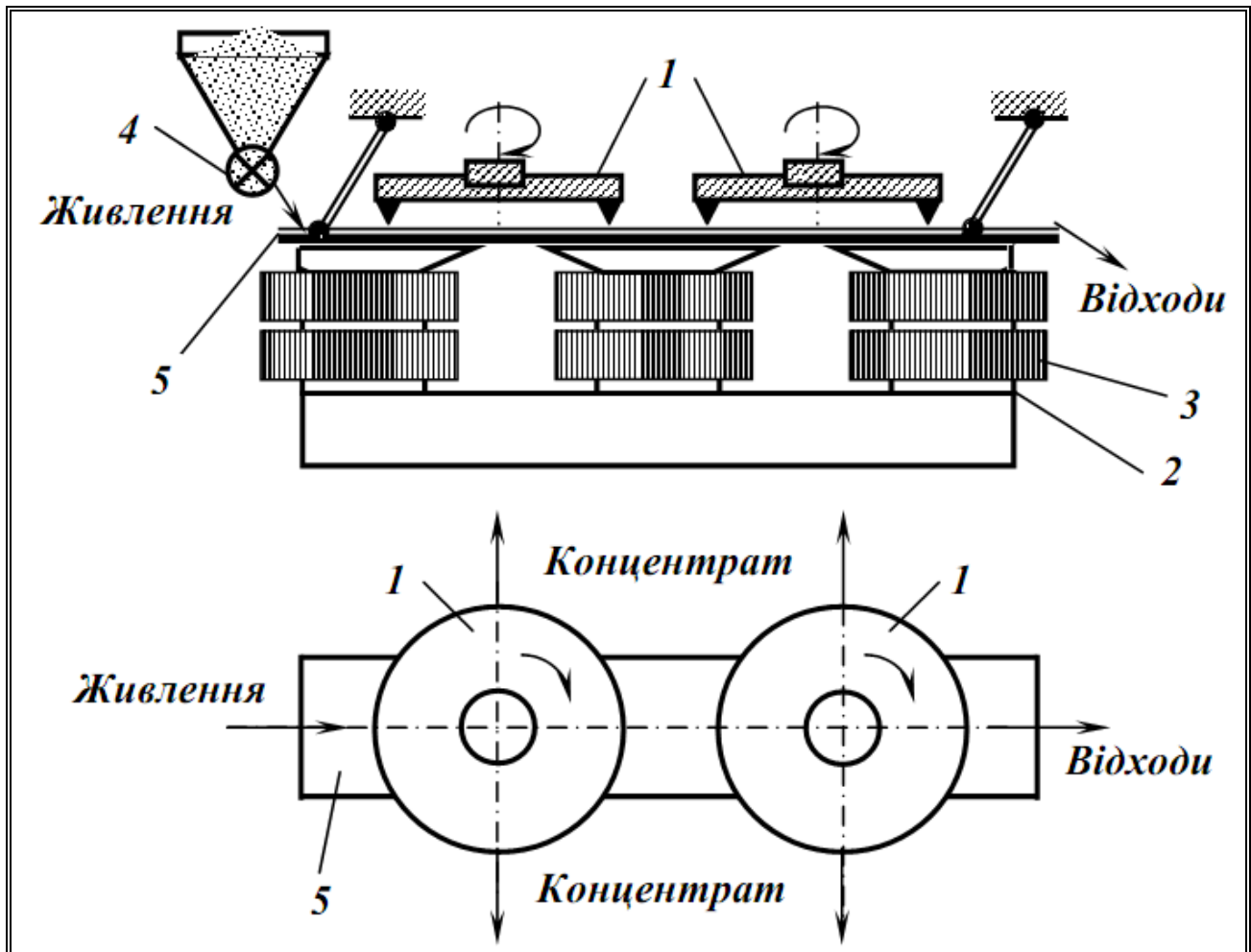


Рисунок 3.15 – Схема дискового магнітного сепаратора:

- 1 – диски;
- 2 – магнітопровід;
- 3 – обмотки;
- 4 – живильник;
- 5 – вібралоток.

Вхідний матеріал барабанним живильником рівномірно розподіляється по лотку та за рахунок вібрацій транспортується під диски, що обертаються. Магнітні частинки притягуються до загострених країв дисків, виносяться за межі лотка і зчищаються щітками у концентратний бункер.

Немагнітні частинки проходять уздовж лотка і розвантажуються в бункер для відходів.

При магнітному збагаченні слабomagнітних руд труднощі виникають при розділенні тонкоподрібнених матеріалів.

Мокре збагачення цих матеріалів у валкових електромагнітних сепараторах недостатньо ефективно, що пояснюється великим гідравлічним

опором руху тонких частинок. Тому вони не встигають при проходженні через робочу зону сепаратора подолати відносно велику відстань у напрямку до зубців валка.

3.5.6. Поліградієнтні сепаратори

Вказані вище проблеми вирішується при використанні поліградієнтних сепараторів, які відрізняються від звичайних барабанних магнітних сепараторів наявністю у робочій зоні дрібних магнітів-носіїв (поліградієнтне середовище), в зазорах між якими індукуються сильні магнітні поля. Як поліградієнтне середовище використовують дрібні кулі, стержні, рифлені пластини, металічну вату тощо .

Особливістю поліградієнтного середовища є те, що завдяки дрібним розмірам сусідні кулі торкаються у точці. Тому навіть при невеликій напруженості магнітного поля в робочій зоні у точках стикання настає магнітне насичення, а суміжні області характеризуються великим об'ємним градієнтом і, отже, великою силою поля. В областях з великою силою магнітного поля тонко подрібнені слабомагнітні частинки притягуються і утримуються, в той же час немагнітні частинки фільтруються через проміжки між кулями.

Поліградієнтний сепаратор (рисунок 3.16) складається з барабана 1, всередині якого закріплена магнітна система 2. Робоча зона сепаратора заповнена сталевими кулями 3. У нижній частині ванни 4 розташоване дугове сито 5 з порогом 6. Сепаратор обладнаний живильником 7 та брызкалами 8 і 9. Вихідний матеріал з живильника у вигляді пульпи подається на шар куль, який утримується на барабані полем магнітної системи. Немагнітні частинки профільтровуються через шар куль і надходять у породний відсік 10 ванни.

Магнітні частинки утримуються магнітною силою в каналах між кулями, піднімаються з ними у верхню частину барабана, де відбувається остаточна відмивка немагнітних частинок водою з брызкала 8. Кулі разом з магнітними частинками транспортуються барабаном на сито 5, де виконується відмивка магнітних частинок водою з брызкала 9. Магнітні частинки потрапляють у

концентратний відсік 11 ванни, а кулі проходять через поріг і знов подаються у зону дії магнітного поля. Далі процес повторюється.

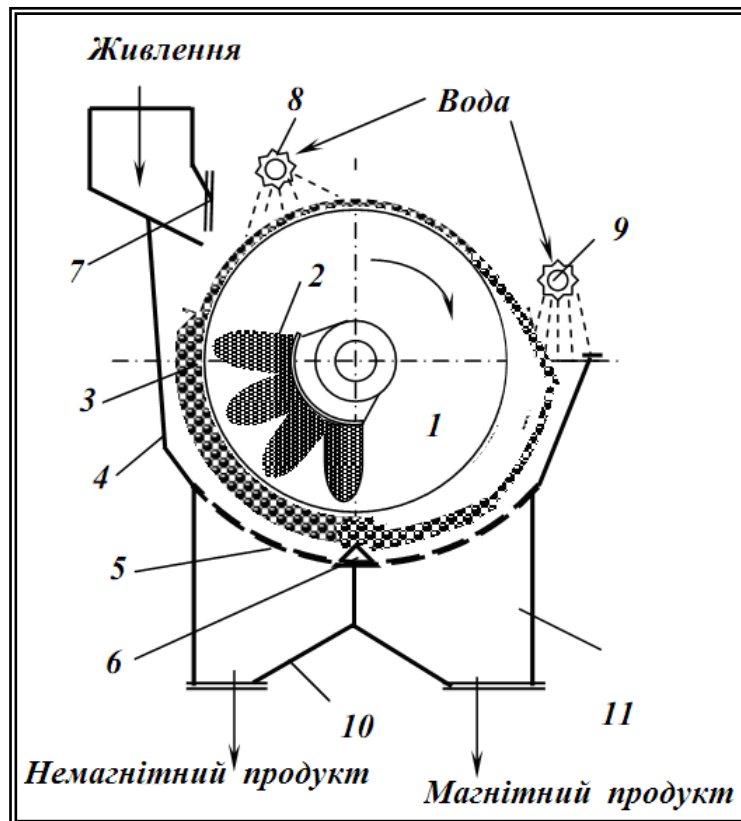


Рисунок 3.16 – Схема поліградієнтного сепаратора.

- 1 – барабан; 2 – магнітна система;
- 3 – сталеві кулі; 4 – ванна; 5 – сито;
- 6 – поріг; 7 – бункер з живильником;
- 8,9 – брызкалі;
- 10 – відсік для породи;
- 11 – концентратний відсік.

3.5.7. Сепаратори з надпровідними магнітними системами

В різних країнах світу реалізовані десятки магнітних сепараторів з надпровідними соленоїдами із Nb–Ti і Nb₃–Sn, які надійно працюють при використанні гелійових криостатів. Нижче наводимо приклади конструкцій таких магнітних сепараторів.

Массачузетським технологічним інститутом (США) та фірмою "Сала магнетікс" (США) створений сепаратор з надпровідною магнітною системою (рисунок 3.17, а), що складається з циліндричного магнітопровода з чотири - полюсною магнітною системою з лінійних провідників, всередині якої

розміщена перфорована труба з горизонтальною віссю для подачі початкового живлення та концентрична до неї труба для збору магнітної фракції. Перфорована труба оснащена спіралеподібними лопатями, сприяючими слабому перемішуванню початкового продукту і його переміщенню. Надпровідна обмотка забезпечує створення магнітного поля індукцією 2 Т.

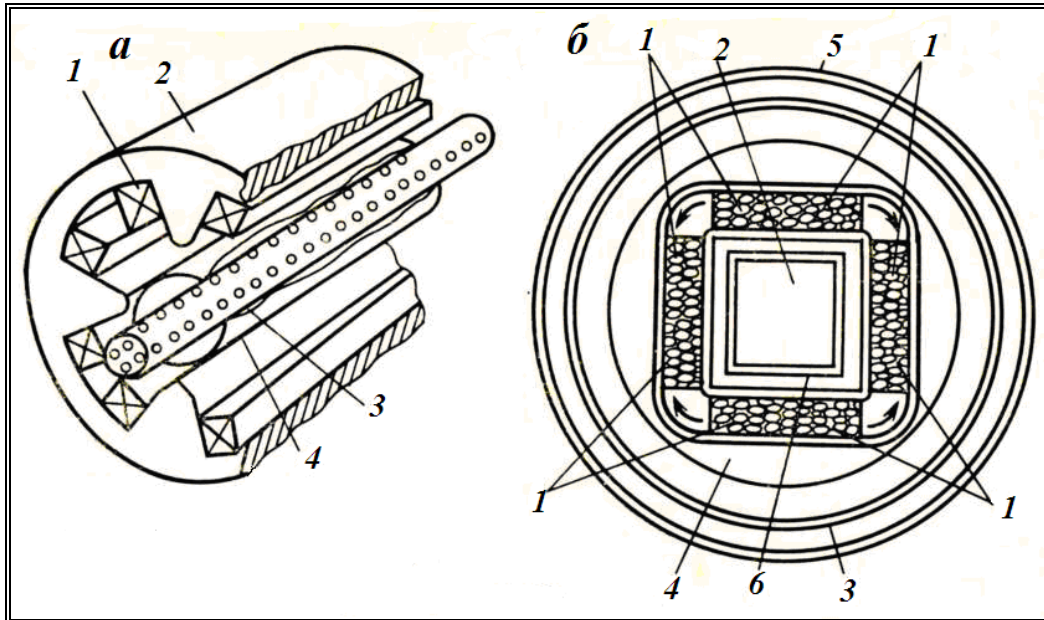


Рисунок 3.17 – Сепаратори з надпровідними магнітними системами :

- а – сепаратор з горизонтальним робочим органом (1 – котушка, 2 – магнітопровід, 3 – перфорована труба, 4 – робоча зона) ;
 б – сепаратор, що складається з соленоїда та розміщеної усередині нього багатополусної магнітної системи (1 – соленоїд, 2 – робочий канал, 3 – надпровідний соленоїд, 4 – полюсні накінецьники, 5, 6 – відповідно зовнішня та внутрішня стінки криостата

Фірмою "Броун Бовері" (Швейцарія) запатентований сепаратор, в якому неоднорідність магнітного поля створюється в результаті використання поєднання однорідного та неоднорідного магнітних полів високої напруженості (рисунок 3.17,б). Неоднорідне поле створюється багатополусною системою квадратної форми, надпровідні обмотки якої розташовані симетрично осі каналу квадратного перерізу для подачі початкової пульпи, а однорідне поле – надпровідним соленоїдом, намотаним на каркас багатополусної системи. Комбінована надпровідна магнітна система розміщена в криостаті з рідким гелієм (між його зовнішньою та внутрішньою стінками).

Контрольні питання та завдання

1. В чому полягає суть методу магнітної сепарації?
2. Завдяки яким технологічним процесам може здійснюватись розділення матеріалів у магнітному полі?
3. Дайте розгорнуту характеристику явищу рівнопритягання.
4. Охарактеризуйте магнітні властивості мінералів.
5. Як впливають магнітні властивості матеріалів на процес магнітного збагачення ?
6. Розгляньте можливі фактори впливу на характеристики магнітного поля багатополюсних систем.
7. Порівняйте характеристики робочих зон магнітних сепараторів для слабوماгнітних та сильномагнітних руд.
8. Охарактеризуйте чинники, що впливають на процес магнітної сепарації.
9. Як класифікують конструкції магнітних сепараторів.
10. Опишіть варіанти виконання барабанних магнітних сепараторів.
11. Порівняйте валкові та дискові магнітні сепаратори.
12. Особливості поліградієнтних магнітних сепараторів.
13. Сепаратори з надпровідними магнітними системами. Перспективи розвитку.

4. ТЕХНОЛОГІЧНІ ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНОГО ЕФЕКТУ

4.1. Фізичні основи електрогідравлічного ефекту

Вперше ідея використання високовольтного імпульсного розряду у воді, як нового способу трансформації електричної енергії в механічну, була запропонована Л.О. Юткіним і названа автором електрогідравлічним ефектом (ЕГЕ).

Електрогідравлічний ефект (ефект Юткіна) полягає в різкому збільшенні гідравлічного тиску при імпульсному електричному розряді в рідині.

У першій половині минулого століття Л. О. Юткін виявив, що електрична іскра, що проскакує між зануреними в рідину електродами в певних умовах, виконує несподівану дію. Якщо поряд з іскрою виявиться тверде тіло, воно буде подрібнено в порошок, яким би твердим воно не було, а розташований над іскровим проміжком стовп рідини підкидається високо вгору. В зоні виникнення розряду миттєво утворюється тиск в десятки і сотні тисяч атмосфер. Мікроскопічний канал, по якому проскакує іскра, має надзвичайно велику густину виділення енергії та миттєву потужність. Так, наприклад, від установки середньою потужністю всього в 0,5 кВт можливо отримати миттєву потужність в 100 тис. кВт і більше. Вода, що оточує іскру, з величезною швидкістю розлітається в сторони, створюючи перший гідравлічний удар. Утворюється розрідження–порожнина, яка відразу заповнюється водою, внаслідок чого виникає ще один потужний гідравлічний удар. Електрична енергія без всяких проміжних ланок переходить в механічну. На рисунку 4.1 представлена спрощена схема установки для реалізації ефекту Юткіна.

Зазвичай електрогідравлічна установка складається з високовольтного трансформатора (Тр), випрямляча (В), накопичувача енергії (С), формуючого проміжку (ФП), технологічного блоку (ТБ), який містить деякий об'єм рідини, систему електродів, між якими створюється імпульсний розряд, та оброблюваний об'єкт, що розташовується поблизу каналу розряду.

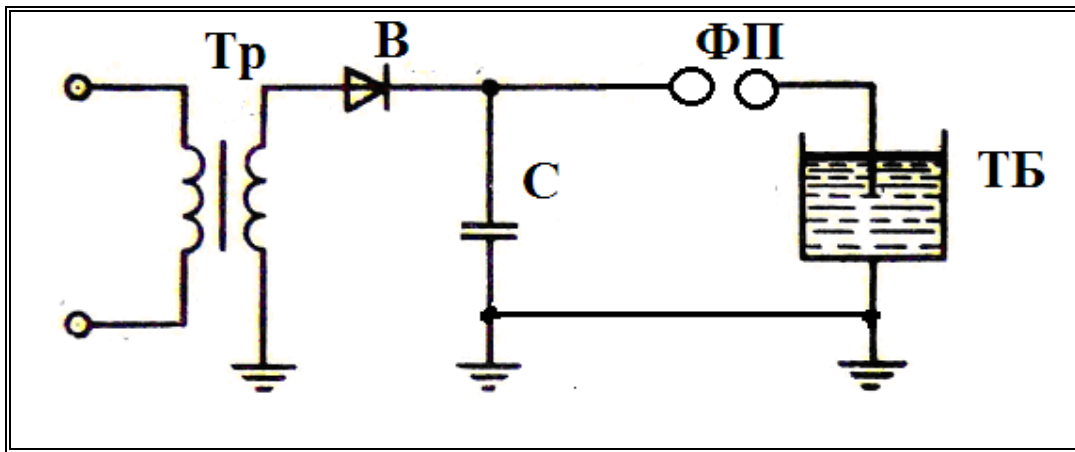


Рисунок 4.1 – Схема електрогідравлічної установки

Накопичувач енергії, як правило, є батареєю імпульсних конденсаторів високої напруги ємністю C . Конденсаторна батарея з'єднується з електродною системою в технологічному блоці через розрядник формуючого проміжку ФП, наявність якого дозволяє зарядити ємність до необхідної напруги від зарядного пристрою (ЗП) з порівняно невеликим струмом. З'єднання накопичувача енергії з технологічним блоком виконується малоіндуктивним, для чого використовуються спеціальні коаксіальні кабелі високої напруги. Застосування коаксіальних кабелів окрім зменшення індуктивності розрядного кола послабляє електромагнітні поля поблизу працюючої установки.

Розрядник ФП може бути керованим або некерованим. Він є, як правило, двоелектродним або трьохелектродним (тригатрон) повітряним іскровим проміжком, що в деяких випадках розміщується в звукоізолюючому корпусі. В установках з великою частотою розрядів проміжок розрядника продувається стислим повітрям, а електроди охолоджуються водою.

Наявність технологічного блоку характерна для установок, призначених для обробки деталей або матеріалів (наприклад, деталей в машинобудуванні і металообробці, сировини в гірничорудній промисловості і промисловості будівельних матеріалів і т. д.). У таких електрогідравлічних установках, як установки для буріння, руйнування шматків негабаритів гірських порід, для ехолокації водоймищ, технологічний блок відсутній і замість нього

використовується переміщувана електродна система, занурювана в шпур, заповнений рідиною, або у водоймище.

Електрогідралічний ефект можливо обґрунтувати наступним чином. Відбувається порівняно повільне накопичення енергії в конденсаторах ємнісного накопичувача енергії (від долей секунди до десятків секунд) і швидкий (наприклад, порядку мікросекунд) скид у воду технологічного блока накопленої енергії та, як наслідок, реалізація в ТБ високих розрядних потужностей.

Регулюючи напругу U заряду ємнісного накопичувача, легко керувати потужністю, яка виділяється в технологічному блоці, що показують співвідношення:

$$E_C = \frac{CU^2}{2}, \quad P_p = \frac{E_C}{t}, \quad (4.1)$$

де E_C - енергія, запасена в ємнісному накопичувачі, Дж;

C – ємність накопичувача, Ф;

U – напруга, В;

P_p – потужність розряду, Вт;

t – тривалість розряду, с.

Ефект Юткіна є ефективним способом перетворення електричної енергії в механічну, здійснюється без посередництва проміжних механічних ланок, що забезпечує йому високий коефіцієнт корисної дії (ККД).

Основними чинниками, що визначають високий ККД, є амплітуда, крутизна фронту і тривалість імпульсу струму. При тривалості імпульсу в декілька мікросекунд, миттєва потужність імпульсу досягає сотні тисяч кіловат.

Електричний розряд в рідині створює надвисокі імпульси гідралічного тиску, ударні хвилі звукової і надзвукової швидкостей, імпульсні переміщення мас рідини з швидкістю до сотень метрів в секунду, потужні процеси кавітації, інфра- та ультразвукові випромінювання, потужні резонансні явища з великими амплітудами, магнітні поля в десятки тисяч ерстед, інтенсивні світлові, теплові,

ультрафіолетові, рентгенівські та навіть гамма випромінювання. Розряд чинить помітні дії на іонні процеси і їх хімічні реакції в розчинах.

На рисунку 4.2 представлені форма і розміщення зон тиску навколо іскрового розряду (по Юткіну Л. О). Електричний розряд відбувається в зоні А.

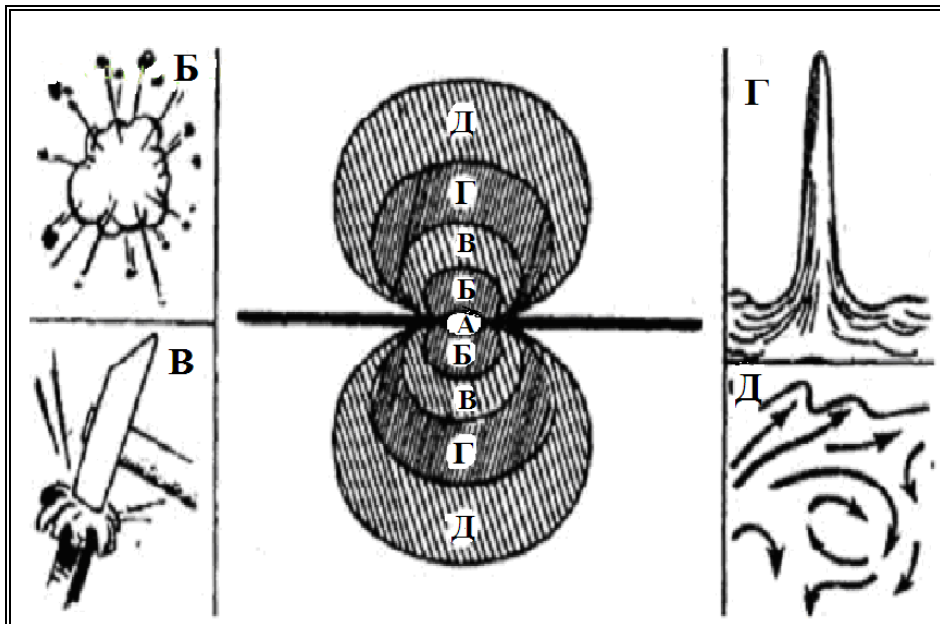


Рисунок 4.2 – Форми і розміщення зон тиску навколо іскрового розряду в рідині

У зоні Б майже усі матеріали руйнуються на найдрібніші частинки. У зоні В багато матеріалів руйнуються, а метали наклепуються (ущільнюються з поверхні). У зоні Г виникає потужна виштовхуюча дія, а в зоні Д спостерігається переміщення великих об'ємів рідини.

Іскровий розряд розвивається шляхом виникнення стримерів в міжелектродному просторі. Канал стримера заповнений іонами OH^- та іонами H^+ . Область стримера, в цілому, електрично нейтральна і ізолює канал від середовища, тобто відбувається процес самоізоляції.

У передрозрядній стадії при пробі повітряного іскрового проміжку ФП напруга на робочому проміжку підвищується до максимальної. Розвиток стримера супроводжується спочатку плавним, а потім імпульсним збільшенням струму в електричному колі.

На стадії переднього фронту імпульсу енергія, накопичена в конденсаторі, передається в канал стримера, струм досягає максимального

значення, діаметр каналу збільшується, тиск і температура в каналі досягають відповідно сотень атмосфер та десятків тисяч градусів.

При інтенсивному виділенні енергії швидкість розширення каналу може перевищувати швидкість поширення звуку в рідині, внаслідок чого хвиля стискування в рідині перетворюється на ударну хвилю.

Розширення області каналу триває доти, поки тиск в ній із-за інерції потоку оточуючої рідини, що розходить, стане меншим тиску середовища.

Отже, досягаючи певного розміру область каналу зупиняється у своєму русі. За тим оточуюча область каналу рідина починає рухатись у зворотньому напрямку, що супроводжується виникненням гідравлічного удару.

4.2. Електрогідравліка в промислових технологіях

В машинобудуванні деталі і заготовки для них отримують найчастіше литвом, штампуванням, зварюванням, пресуванням з порошків. Розглянемо деякі ефективні ЕГ - процеси, використовувані в перерахованих технологіях.

Для великих деталей, що не вимагають високої точності розмірів, використовуються земляні (в основному, що складаються з кварцевого піску) форми. Після тверднення і охолодження відливку потрібно вилучити з форми, що і робиться за допомогою спеціальних вібросит. Проте формувальна суміш «пригоряє» і частково залишається на відливках. Особливо складно видаляти стержні (елементи форми), які встановлюються для отримання порожнин і отворів. Традиційно очищення відливок від формувальної суміші робиться оператором в респіраторі відбійним молотком або пневмозубилом (робота шкідлива і малопродуктивна).

Існують ЕГ– установки, що дозволяють ефективно вирішувати вказану проблему (рисунок 4.3).

Відливка встановлюється на ґрати, які опускаються у ванну з водою, до

відливки зверху підводяться електроди, здійснюються розряди на заземлену відливку. Ударна хвиля стискування, проходячи крізь металеву відливку, на межі перетворюється у хвилю розтягування, яка руйнує формувальну суміш, що пригоріла, а також усі неметалічні нашарування, що мають інші акустичні характеристики. Гідропотік виносить все те, що вже відшарувалося з заглиблень і отворів.

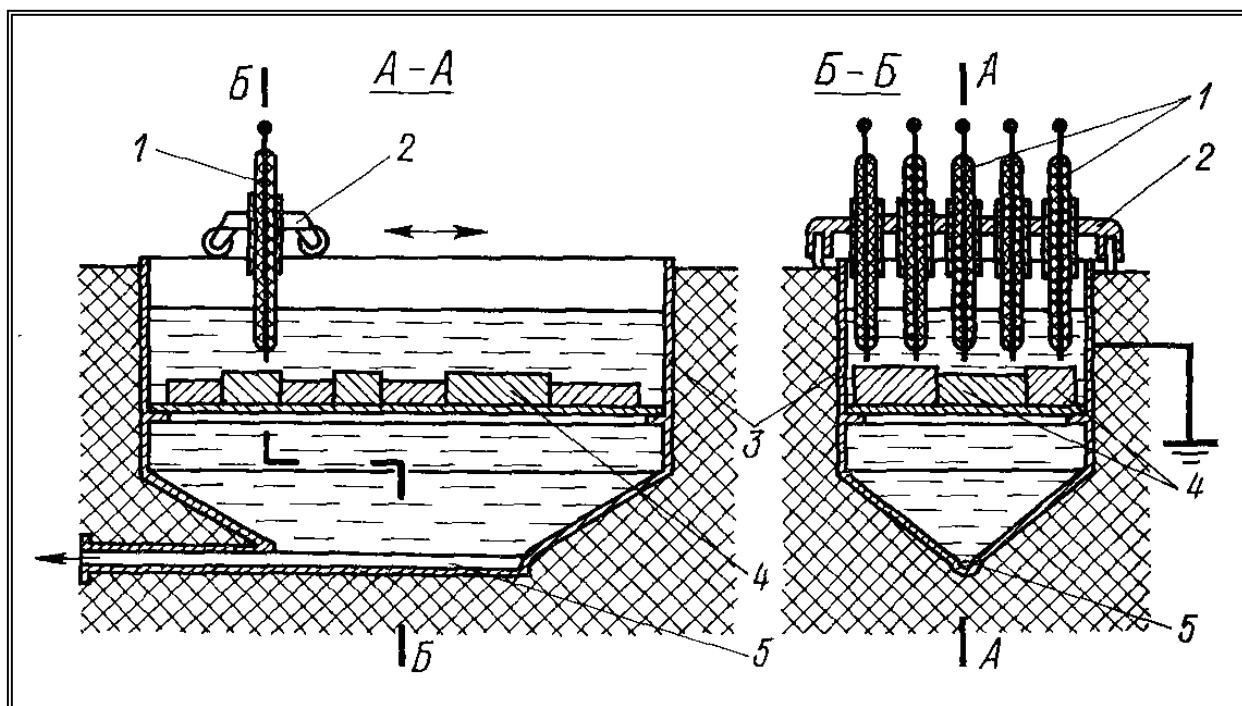


Рисунок 4.3 – Установка ванного типу для електрогідравлічної очистки литва:

1 – електроди; 2 – рухома каретка; 3 – корпус ванни; 4 – оброблювана відливка;
5 – лоток трубопроводу

Серйозна проблема – видалення стержнів малого діаметру і великої довжини, наприклад, очищення каналів (діаметр - 1 мм, довжина - 100-120 мм) охолодження лопаток турбін авіаційних двигунів, що виготовляються з титану точним литвом по моделям, що виплавляються. Раніше канали очищалися хімічно сильнодіючими реактивами, і отримувані при цьому відходи складували в спеціальних сховищах.

Очищення каналів шляхом ЕГ– обробки відливок дозволило реалізувати екологічно чистий процес виробництва.

Штампування (холодне з листа). Традиційно при штампуванні використовується матриця, по якій формується деталь, і пуансон, що здійснює деформацію заготовки. При ЕГ – штампуванні (рисунок 4.4) роль пуансона виконує вода.

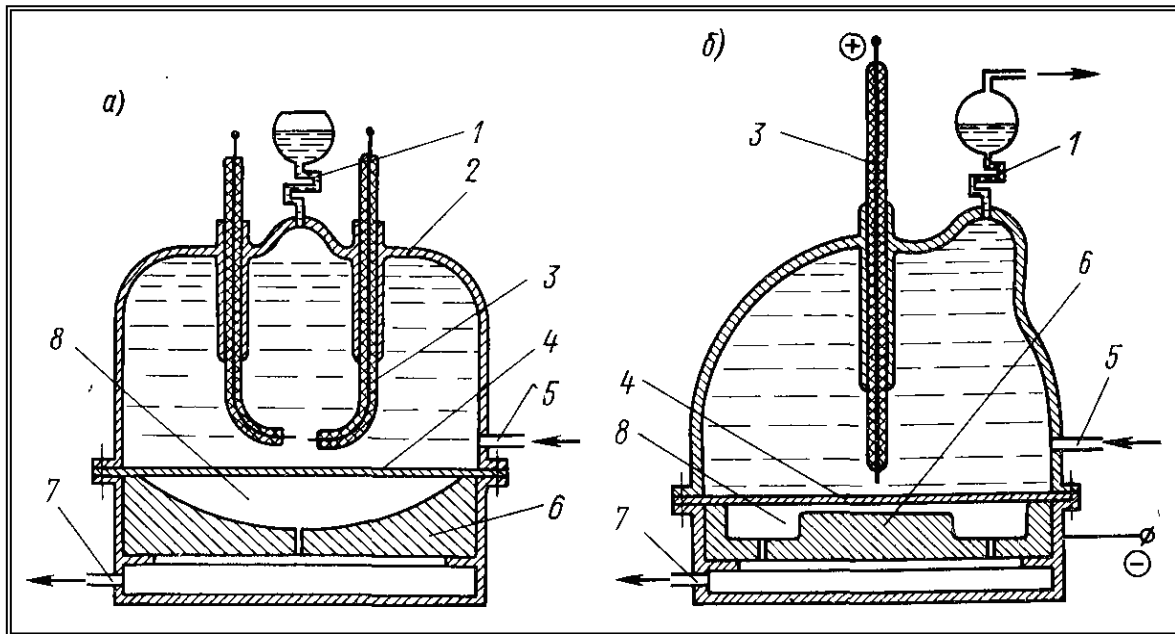


Рисунок 4.4. Влаштування для електрогідравлічної штамповки з двома (а) і одним (б) електродами: 1 – тормозний канал з ресивером; 2 – литий корпус влаштування; 3 – електроди; 4 – штампуємий лист; 5 – подача води; 6 – матриця; 7 – патрубок вакуумного насосу; 8 – вакуумована порожнина

Заготовка притискається до матриці камерою з електродами, камера заповнюється водою, після чого виконується серія розрядів.

При розряді тиск гідропотоку здійснює штампування.

Процес має наступні переваги:

- відсутність пуансона, який повинен строго відповідати матриці (особливо важливо для дрібносерійного виробництва);
- можливість поєднання операцій (наприклад, формування і пробивки отворів), при цьому для декількох операцій використовується одна матриця;
- висока точність штампованих деталей через відсутність пружинення при імпульсному навантаженні.

Зварювання – процес отримання нероз'ємного з'єднання. При зварюванні плавленням має місце проблема залишкової механічної напруги, що виникає в результаті нерівномірного охолодження рідкого металу, що наплавляється, і

елементів, що з'єднуються. Метал наплавлення остуджується і при охолодженні прагне стискуватися, чому перешкоджають холодні, зазвичай жорсткіші, елементи заготовки. В результаті в шві і заготовці виникає зварювальна (залишкова) напруга. Напруга може приводити до поводок (поступової зміни розмірів) і появи тріщин (при розтягуючій напрузі). Відповідальні і важливі деталі завжди відпалюють для зняття залишкової напруги. Відпал – 24-х годинна витримка в печі при температурі для сталі, наприклад, не нижче 600 градусів – операція дорога і надзвичайно непродуктивна (особливо для великогабаритних деталей). ЕГ-обработка швів, яка може бути реалізована у ванні для очищення литва, дозволяє протягом однієї – двох годин понизити залишкову напругу на 50-70%. Цей атермічний (без нагріву) метод релаксації напруги дозволяє значно понизити енерговитрати. Істотно зменшити поводки в з'єднаннях різнорідних матеріалів (перевірено, наприклад, на корпусах електромашин підводних човнів) і виключити тріщиноутворення, до якого схильні шви деяких високолегованих жароміцних сплавів. При цьому, традиційний відпал не знімає проблему зниження залишкової напруги в з'єднаннях різнорідних металів і тріщиноутворення в жароміцних сплавах.

Традиційне дроблення – для випадків подрібнення (механічного) алмазів і твердих алмазоподібних матеріалів, виробництва хімічно чистих порошків – обмежено міцністними можливостями інструменту. ЕГ-дроблення вирішує усі проблеми.

На рисунку 4.5 показаний електрогідравлічний пристрій для подрібнення матеріалів. В загрузочний бункер безперервно подають матеріал, що підлягає обробці, а по трубопроводу – робочу рідину (воду) з таким розрахунком, щоб рівень води в бункері був постійним. Матеріал, що заповнює об'єм робочої камери, подрібнюється за рахунок дії електрогідравлічних ударних хвиль.

Видалення обробленого матеріалу із корпуса в вихідний бункер реалізується як дією самих електрогідравлічних ударів, так і течією робочої

рідини через отвори днища. Заміною днищ з різними діаметрами вихідних отворів можливо змінювати середню крупність подрібнення.

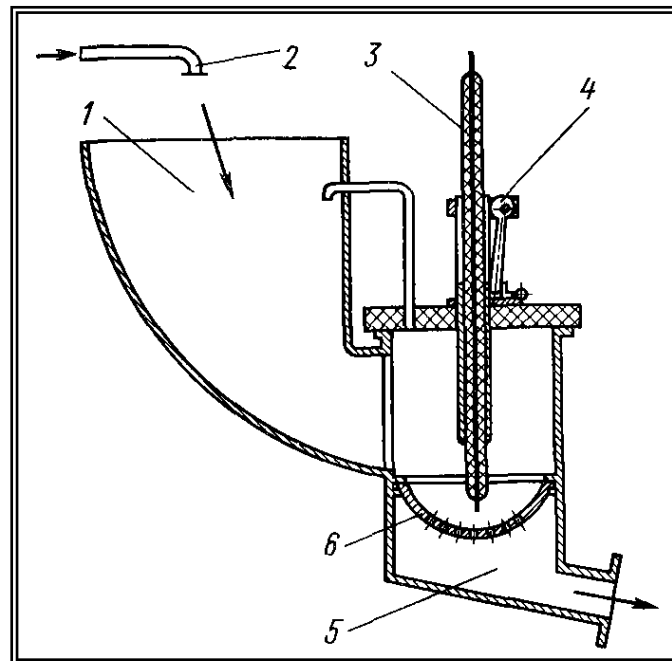


Рисунок 4.5 – Електрогідравлічний пристрій для подрібнення матеріалів:

1 – загрузочний бункер; 2 – подача води; 3 – позитивний електрод; 4 – зажим для регулювання довжини робочого іскрового проміжку; 5 – вихід готового продукту; 6 – днище дробилки (від'ємний електрод).

Видалення обробленого матеріалу із корпусу в вихідний бункер реалізується як дією самих електрогідравлічних ударів, так і течією робочої рідини через отвори днища. Заміною днищ з різними діаметрами вихідних отворів можливо змінювати середню крупність подрібнення.

4.3. Застосування електрогідравлічного ефекту в сільськогосподарському виробництві

Як відомо, ґрунт утворюється в результаті вивітрювання, розкладання гірських порід і містить практично усі елементи таблиці Менделєєва. Проблема в тому, що основна маса біогенних речовин є присутніми в ґрунті і у воді у вигляді з'єднань, не доступних рослинам (нерозчинні та слабозрозчинні). Звичайно, обходять цю перешкоду, додаючи в ґрунт синтезовані на заводах розчинні, доступні рослинам поживні речовини, тоді як є простий спосіб

підвищення родючості ґрунту : перевести в розчинний стан те, що вже є в надлишку в родючому шарі. Питання лише в тому, як це зробити?

Л. О. Юткін помітив, що при електрогідравлічному дробленні гірських порід і інших матеріалів багато хімічних елементів і їх з'єднання, що входять до складу цих порід, переходять у воду у вигляді розчинних з'єднань в кількостях, що досягають 90...95 % від масового вмісту їх в початковому матеріалі.

Переходження хімічних елементів і їх з'єднань у водний розчин пояснюється тим, що при електрогідравлічній обробці одночасний вплив і складний механізм усіх діючих чинників електрогідравлічною ефекту приводять до розриву сорбційних і периферичних хімічних зв'язків і навіть до утворення нових з'єднань. Тому виділення в розчин елементів, що містяться в ґрунті, буде відбуватися дуже ефективно. Вже перші досліди по електрогідравлічній обробці ґрунту повністю підтвердили це припущення. Обробка ґрунту електрогідравлічним ударом показала, що з ґрунту в розчинний у воді стан переходить більше 30 хімічних елементів у вигляді різних з'єднань, а всього з 1 тонни ґрунту можуть бути отримані десятки кілограмів цих елементів в розчинних з'єднаннях (замість близько 250 грамів при природному розчиненні).

Наприклад, розчинений в звичайній поливній воді біологічно інертний азот перетворюється на оксиди. При ЕГ-ударі різко зростає вміст іонів NO_2 і NO_3 , гідроксильні іони перетворюються на перекис водню, який тут же розпадається на H_2O і O . Атомарний кисень енергійно окислює "пасивні" солі родючого шару.

Більшість природних комплексних солей погано розчинні. В умовах електрогідравлічної обробки усі процеси руйнування складних ґрунтових солей, що протікають в природних умовах надзвичайно повільно, здійснюються миттєво. Не менш важливо і те, що зміна параметрів розряду дозволяє зробити ці процеси керованими, вибірково впливати на їх протікання.

Ґрунт є полідисперсною системою, в якій високодисперсна її частина грає головну роль в живленні рослин. Чим вище відсоток високодисперсної частини

ґрунту відносно усієї його маси, тим більш родючим виявляється ґрунт. При електрогідравлічній обробці відбувається подрібнення більшої частини ґрунту до частинок, що мають діаметр 0,002 мм. Розмір поверхні, що утворюється, стає більшою, ніж навіть у найбільш високодисперсних мулких фракцій звичайного ґрунту.

Високодисперсні частинки, що утворилися, активно взаємодіють із з'єднаннями, що перейшли в розчин, через що такі процеси, як розчинення і сорбція, кількісно зростають.

Міняючи параметри ЕГ-ударів, можливо "створювати" ґрунти із заздалегідь заданими розмірами частинок.

Для використання на великих земельних ділянках розроблені принципово нові ґрунтообробні сільськогосподарські електрогідравлічні машини. Найбільш цінна якість цих електрогідравлічних пристроїв заключається в тому, що вони не лише не чинять негативної дії на глибокі шари ґрунту, але одночасно покращують структуру ґрунту, підвищують його родючість.

Ґрунтообробні електрогідравлічні пристрої розроблені з урахуванням типу ґрунту, вологості і кліматичних умов. На рисунку 4.6 наведено приклад однієї з конструкцій такого електрогідравлічного пристрою.

Працює електрогідравлічний плуг таким чином. При повороті кронштейна піднімаються колеса, а ножі-електроди заглиблюються в ґрунт. По трубопроводу в робочий проміжок безперервно поступає вода, а по кабелю від генератора імпульсних струмів до електродів плуга подаються високовольтні імпульси струму, частота дотримання яких і їх параметри визначаються робочими характеристиками генератора імпульсних струмів. Направляюча пластина заднього ножа-електроду і можливість регулювання висоти підйому опорних коліс забезпечують здійснення електрогідравлічних ударів на заданій глибині та стійкість руху плуга. В результаті в заповненою водою порожнині між переднім і заднім ножами плуга безперервно виникають електрогідравлічні удари, які обробляють ґрунт.

Після обробки електрогідравлічним плугом, навколо зони розряду нижній шар ґрунту ущільнюється, а верхній шар ґрунту, де розташовується коренева система рослин розпушується.

Потреби у воді для електрогідравлічної обробки поля незначні – близько 10..15 м³ на 1 га, що складає всього 5..10 % від норми вегетаційних поливів.

Енергетичні витрати силової установки трактора, що живить електрогідравлічну установку, не перевищують 30 кВт на 1 га, що визначає собівартість внесення добрив.

Але які б результати не виходили в експериментах, все ж остаточний суддя ефективності в сільському господарстві – сам урожай.

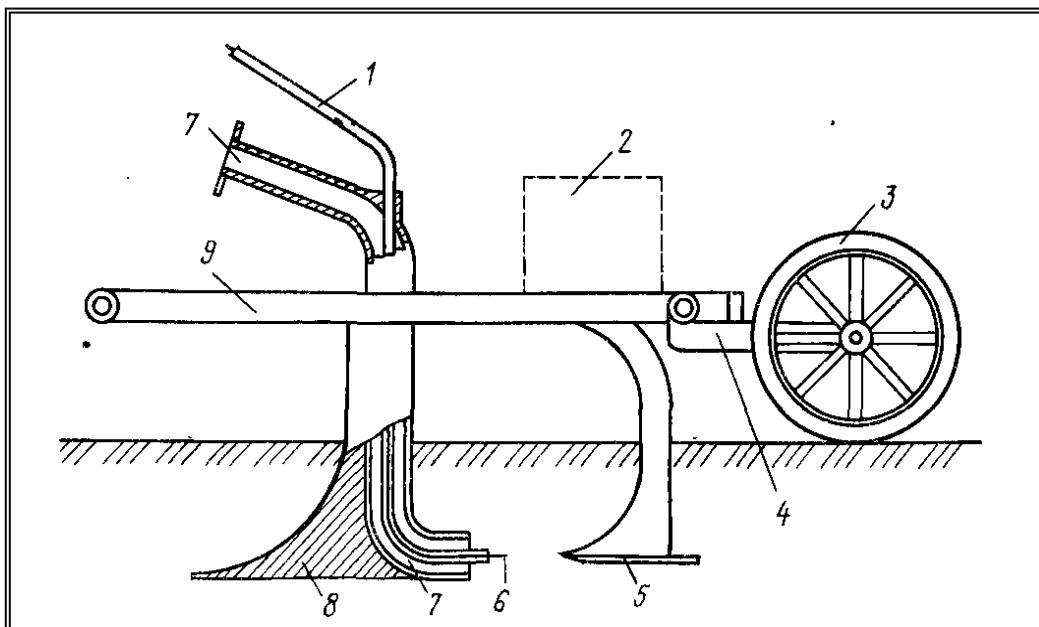


Рисунок 4.6 – Електрогідравлічний плуг для сухого ґрунту: 1 – високовольтний струмопровід; 2 – висівачий або посадочний пристрій; 3 – опорні колеса; 4 – кронштейн для підйому колеса; 5 – пластина заднього ножа (негативний полюс струму); 6 – позитивний полюс струму; 7 – трубопровід для подачі води або рідкого добрива; 8 – передній ніж; 9 – плугова рама

У звітах досліджень зафіксовані цифри підвищення урожайності: зелена маса вівса збільшилась в 1,5 рази, ячменю – в 3,5 рази по відношенню до контрольних ділянок. ЕГ- обробіток ґрунту та поливної води сприятливо відзначились для усіх без виключення культур, перевірених в експериментах. Розвиток дослідних рослин іноді, просто, вражає. Наприклад, квасоля, яку

поливали витягом з ЕГ- обробленого ґрунту, виросла до чотириметрової висоти; рослини були міцними, з інтенсивно забарвленим листям, потужною кореневою системою. А вартість енерговитрат на ЕГ- обробку однієї тони ґрунту складала від 6 до 12 копійок, однієї тонни торфу – від 8 до 17 копійок (ціни середини 80-х років минулого століття).

Л. О. Юткін відкрив цікаве явище. Якщо після ЕГ-ударів ґрунт "залишити в спокої ", то через деякий час кількість азоту в ньому збільшується завдяки роботі бактерій-азотофіксаторів.

Винахідник назвав це явище "бактерійним вибухом" (авторське свідоцтво № 211918 від 2 липня 1965 р.). Оскільки процесом можна управляти, міняючи параметри ЕГ-ударів або підсіваючи потрібні бактерії в заздалегідь стерилізований ЕГ-обробленим ґрунт, виходить, що "бактерійний вибух" піддається певному регулюванню.

Відомо, що органічне добриво є дефіцитом. За допомогою ЕГ- ефекту його можна виробляти з торфу, який в натуральному виді не може засвоюватися рослинами.

Торф для ЕГ- обробки очищують від домішок, змішують з водою і прокачують через робочу камеру, де здійснюють розряди. В результаті отримують за годину 100 кг пастоподібного продукту, який являє собою екологічно чисте добриво. ЕГ - дія деструктує складні органічні складові торфу, в результаті чого відбувається подрібнення його фракцій до 1-30 мкм. При цьому вміст аміачного азоту зростає в 2,5– 4 рази в низовинному торфі і у 5–7 разів – у верховому, а кількість водорозчинної органічної речовини збільшується в 1,5 - 2 рази. Отримане добриво пройшло багаторічні випробування при вирощуванні овочів, плодово-ягідних культур і декоративних рослин. Врожайність огірків і помідорів, наприклад, при застосуванні ЕГ- обробленого добрива з торфу підвищувалась на 15 – 20 %.

Висока дисперсність, в'язкість, склеювальна здатність і хороші властивості удобрювача, електрогідравлічно обробленого торфу, дозволили застосувати його як основний компонент для виготовлення дражированої маси насіння.

Для впровадження в практику розроблена лінія дражирування насіння . Фрезерований торф навантажувачем подається на віброгуркіт, де відбувається відсівання великих включень. Просіяний торф по транспортеру поступає в змішувач, де змішується в заданій пропорції з водою. Потім суспензія йде на обробку в бункер електрогідравлічної дробарки, після якої пульпа прямує в ємність готового продукту, далі через сито – в розпилювач дражиратора. Як другий компонент дражировочної маси використовують сухий торф. Після обробки в дражираторі насіння поступає в сушарку. Потім – в калібратор, в якому здійснюється сортування дражированого насіння по фракціях. Дражирування насіння може здійснюватись формуванням гранули удобрювача з розміщенням усередині нього насіння. Формування здійснюється витискуванням компонентів гранул з концентричних трубопроводів, що охоплюють розподільник насіння. Сформовані драже відсікаються дозуючим відсікачем.

Подібним чином можна формувати і багатокомпонентні гранули з комплексним запасом поживних елементів, необхідних рослинам на усіх фазах їх розвитку.

Завдяки цьому добрива вносяться до коренів рослин, одночасно з посівом. Концентрація сумішей удобрювачів в гранулах дозволяє підвищити економічність внесення добрив.

Бадиля багатьох сільськогосподарських рослин, водорості, деревна зелень містять багато біологічно активних речовин, регулюючих життєво важливі процеси організмів.

Проте, усі ці поживні речовини поміщені в міцну, важкоперевариму лігніфіковану оболонку. Електрогідравлічна обробка руйнує цю оболонку, вивільняючи ув'язнені в ній поживні речовини. Встановлено, що при електрогідравлічній обробці сировини в ній зростає вміст сирого жиру, розчинних і редукуючих цукрів. Структурні зміни корму підвищують його поживність, а також дозволяють використовувати отриманий субстрат для вирощування дріжджів.

Для електрогідравлічної обробки та приготування рослинних і тваринних кормів використовують електрогідравлічні дробарки різних типів.

Електрогідравлічні дробарки для комплексної обробки харчових відходів, торфу, соломи, водоростей, гілок, хвої і інших органічних продуктів мають великі перспективи впровадження в сільськогосподарському виробництві.

Контрольні питання та завдання

1. Поясніть в чому полягає суть електрогідравлічного ефекту.
2. Охарактеризуйте основні складові електрогідравлічних установок.
3. Дайте розгорнуту характеристику електрофізичним процесам, що супроводжують електричний розряд у воді.
4. Розгляньте напрямки застосування електрогідравліки в промислових технологіях.
5. Охарактеризуйте особливості застосування електрогідравлічного ефекту в машинобудуванні.
6. Опишіть електрогідравлічні пристрої для подрібнення матеріалів.
7. Дайте розгорнуту характеристику застосування електрогідравлічного ефекту в сільськогосподарському виробництві.
8. Розгляньте фактори впливу електрогідравлічних пристроїв на покращення родючості ґрунту.

Список використаної та рекомендованої літератури

1. Техніка і електрофізика високих напруг: Навчальний посібник /За редакцією В. О. Бржезицького та В. М. Михайлова. – Харків: НТУ «ХПІ» – Торнадо, 2005. – 930 с.
2. Ахметов С. А. и др. Технология и оборудование процессов переработки нефти и газа: Учебное пособие / С. А. Ахметов, Т. П. Сериков, И. Р. Кузеев, М. И. Баязитов; Под ред. С. А. Ахметова. – СПб.: Недра, 2006. – 868 с.
3. Глаголева О. Ф. и др. Технология переработки нефти. В 2-х частях. Часть первая. Первичная переработка нефти / Под ред. О. Ф. Глаголевой, В. М. Капустина. – М.: Колос, 2006, – 400 с.
4. Логинов В. И. Обезвоживание и обессолевание нефти. – М.: Химия, 1979. – 216 с.
5. Филимонова Е. И. Основы технологии переработки нефти: Учебное пособие. – Ярославль: Издательство ЯГТУ, 2010. – 171 с.
6. Высоковольтные электротехнологии /Учебное пособие по курсу «Основы электротехнологии» // Под ред. И.П.Верещагина. – М.: МЭИ, 1999.
7. Гречихина Н. А. Совершенствование процесса первичной переработки нефти. /Электронное научное издание «Ученые заметки Тихоокеанского государственного университета, Хабаровск» –2013, –Том 4, –№4, – С.1221 –1226.
8. Мановян, А. К. Технология первичной переработки нефти и природного газа: Учебное пособие для вузов / А. К. Мановян. - М.: Химия, 2001. – 568 с.
9. Физические основы электрической сепарации /Ангелов А.И.,Верещагин И.П., Ершов В.С. и др.; Под ред. Ревнивцева В.И. –М.: Недра, 1983.
10. Кармазин В, В., Кармазин В. И., Магнитные и электрические методы обогащения: Учебник для вузов. – М.: Недра, 1988. –304 с.
11. Олофинский Н.Ф. Электрические методы обогащения. Изд.4, перераб. и допол. –М.: Недра, 1977. –519 с.
12. Трубилин Е.И., Федоренко Н.Ф., Тлишев А.И. Механизация послеуборочной обработки зерна и семян. – Краснодар: КГАУ, 2009. – 96 с.
13. Справочник по обогащению руд. / Гл. ред. Богданов О. С. Т.2 «Основные и вспомогательные процессы», ч.1 «Основные процессы». – М.: Недра, 1974. – 448 с.
14. Кравец Б.Н. Специальные и комбинированные методы обогащения. – М.: Недра, 1986. – 236 с.
15. Ю. К. Городецкий, Е. А. Городецкая, И. Б. Дубодел . Диэлектрическая сепарация - альтернативный способ получения однородных партий частиц и семян / В кн.: Техническое и кадровое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве. Ч. 1 . – Минск: БГАТУ, 2014. – № 1. – С.342-344.

16. Беззубцева М.М., Волков В.С. Электротехнологии агроинженерного сервиса и природопользования. Учебное пособие. – СПб: Изд-во СПбГАУ, 2012. – 258 с.
17. Ангелов А.И., Набиулин Ю.Н. Электрические сепараторы свободного падения. – М.: Недра, 1977. – 160 с.
18. Куликова Л.В. Интенсификация электротехнологических процессов в кормопроизводстве на основе использования электромагнитного поля: Автореф. диссертации док. техн. наук. – Барнаул: АЛТГТУ, 2001. – 44 с.
19. Авдохин В. М. Основы обогащения полезных ископаемых: Учебник для вузов: В – М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2006. – 417 с.
20. Кармазин В, В. Магнитные, электрические и специальные методы обогащения полезных ископаемых. – М.: Московский государственный горный университет, 2002. – 296 с.
21. Асанов С. Ш. Электротехнология. Учебное пособие. – Алматы: Издательство «Бастау», 2014. – 360 с.
22. Пантелеева Н .Ф., Думов А. М. Магнитные, электрические и специальные методы обогащения полезных ископаемых: Магнитные методы обогащения полезных ископаемых. Курс лекций - Москва: МИСиС, 2009.- 105 с.
23. Багаев А.А., Багаев А.И., Куликова Л.В. Электротехнология : учеб. пособие. – Барнаул : Алт. гос. аграр. ун-т. 2006. – 315 с.
24. Беззубцева М.М., Волков В.С. Электротехнология // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 6. – С. 57–58.
25. Беззубцева М.М. Электротехнологии и электротехнологические установки в АПК. – СПб: СПбГАУ, 2011. – 242с.
26. Каминский А.М., Живописцев Е.Н. Электронно – ионная технология в сельскохозяйственном производстве. – М.: Агропромиздат. 1985. – 93 с.
27. Ніколаєнко К. В., Олійник Т. А., Прилипенко В. Д. Магнітні та електричні методи збагачення корисних копалин. /Підручник для студентів вищих навчальних закладів. – Київ: Фенікс, 2011. – 295 с.
28. Юткин Л.А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд–ние, 1986. – 253 с.
29. О применении электрогидродинамического эффекта в сельском хозяйстве / И.О. Егорушкин, Я.А. Кунгс, А.И. Орленко, Н.В. Цугленок, А.В. Юрьёв // Вестник КрасГАУ. – 2013.– №1. – С.143-146 .

Навчальне електронне видання

**Застосування електричних і магнітних полів у промисловому та
сільськогосподарському виробництві**

Частина 2

**ТЕХНОЛОГІЇ, ЗАСНОВАНІ НА СИЛОВІЙ ДІЇ
ЕЛЕКТРИЧНИХ І МАГНІТНИХ ПОЛІВ**

Навчальний посібник

з дисципліни «Застосування електричних і магнітних полів у промисловому та
сільськогосподарському виробництві» для напрямів підготовки
(спеціальностей): 6.050701 «Електротехніка та електротехнології»,
спеціальність «Техніка і електрофізика високих напруг

Укладачі:

Бржезицький Володимир Олександрович

Козюра Володимир Володимирович

Козюра Володимир Миколайович

*Затверджено Методичною радою НТУУ "КПІ"
(протокол № 7 від 06 червня 2016 р.)*

Відповідальний редактор доцент, к.т.н. О. Р. Проценко

Комп'ютерна верстка В. М. Козюра

НТУУ «КПІ» ФЕА, 03056, Київ-56, проспект Перемоги, 37
2016 р.