

Чорний Дмитро Миколайович

Магістерська робота

**Дослідження кінетики процесу промивки мінеральної сировини
та обґрунтування раціональних параметрів
вібраційних промивальних машин**

Керівник роботи

проф., д.т.н. Громадський А.С.

ВСТУП

Операції промивки мінеральної сировини є складовою частиною технологічного процесу збагачення корисних копалин. Від їх ефективності у значному ступені залежить якість отриманих продуктів сепарації [1].

Промивці піддаються розсипи шляхетних і рідких металів, скляні і формувальні піски, сировина для виробництва металургійних флюсів, будівельних матеріалів та іншої продукції, для якої збагачення полягає у диспергуванні та видаленні глинистих включень, що засмічують її. Важливе значення має промивка для попереднього очищення від глини залізних руд різних родовищ, руд кольорових металів, гірничо-хімічної сировини. Кількість таких покладів, що залучаються у розробку, розширюється, у зв'язку з чим важливість операцій промивки мінеральної сировини невіддільно зростає [2-11].

В якості промивальних апаратів використовуються найпростіші лотки, шлюзи і вашгерди, що дають можливість виділяти із загального рудопотоку цінні компоненти з набагато більшою густиною у порівнянні з порожніми породами. Для додаткового попереднього диспергування глини та видалення утвореної глинистої суспензії застосовують такі апарати, як бутари, коритні мийки.

Практично в усіх випадках промивка матеріалів, засмічених глинистими домішками представляє собою доволі трудомісткий процес, під час якого спочатку тим чи іншим способом руйнуються ці домішки, а потім відокремлюється глиниста суспензія. Ступінь трудомісткості залежить від багатьох факторів; вирішальне значення при цьому мають фізико-механічні властивості матеріалу, що промивається, глини, що його засмічує, та води, яка використовується для промивки мінеральної сировини.

Матеріал може звільнятися від глинистих включень як за допомогою механічного перемішування у водяному середовищі робочими органами промивальної машини, так і шляхом спеціального впливу на нього (наприклад, ультразвуковими коливаннями, високонапірними струменями води, використанням електрогідролічного ефекту тощо).

Останнім часом широке розповсюдження отримали промивальні машини вібраційного типу, які дозволили суттєво підвищити ефективність процесу промивки за рахунок реалізації високочастотних коливань оброблюваної сировини [12].

Таким чином, важливість подальшого дослідження процесів промивки різноманітних матеріалів, у тому числі гірничої маси, з метою розробки та впровадження більш ефективних конструкцій промивального обладнання важко переоцінити. З огляду на це, актуальність теми представленої магістерської роботи не викликає жодних сумнівів.

Мета роботи – аналіз особливостей процесу промивки мінеральної сировини в установках вібраційної дії та обґрунтування раціональних параметрів вібраційних промивальних машин.

Об’єкт дослідження – технологічний процес промивки мінеральної сировини у промивальних машинах вібраційної дії.

Предмет дослідження – вібраційні промивальні машини.

Наукове положення – розроблені у роботі рекомендації дають можливість запропонувати раціональні конструктивні та експлуатаційні параметри вібраційного промивального обладнання підвищеної ефективності.

1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ТА ОБГРУНТУВАННЯ ТИПУ ОБЛАДНАННЯ

1.1 Загальна характеристика технологічного процесу вібраційної промивки сировини

Промивка мінеральної сировини у широкому сенсі цього поняття представляє собою складний процес послідовно або паралельно здійснюваних операцій, а саме [13]:

- дезінтеграції (роз'єднання на окремі зерна) гірничої маси, зцементованої прошарками глини;
- відтирання плівок та примазок глини з поверхонь зерен гірничої маси;
- диспергування (тонкого подрібнення) грудок глини;
- зважування дрібних часток глини у воді (утворення глинистої суспензії);
- відділення глинистої суспензії (шламу) від матеріалу, що промивається.

Для промивки гірничої маси та інших речовин використовується різноманітне механічне обладнання, яке відрізняється своїм конструктивним виконанням та способами диспергування та відокремлення глинистих включень. Серед них можна відзначити промивальне обладнання барабанного та коритного типів, в якому операції промивки здійснюються за рахунок впливу на гірничу масу механічних органів промивальних пристроїв (лопат, шабел, спіралей) та шляхом взаємного тертя шматків гірничої породи; за допомогою впливу водного середовища, який може бути як пасивним (шляхом повільного розмокання матеріалу), так і активним (руйнування глинистих домішок високонапірними струменями води під тиском).

Відносно новим та найбільш перспективним типом промивального обладнання є вібраційне. І це не дивно, адже останні десятиліття характеризуються бурхливим розвитком вібраційних технологій і техніки у найрізноманітніших галузях людської діяльності, у тому числі у гірничій та гірничозбагачувальній промисловості.

Використання вібраційної техніки дає можливість докорінним чином удосконалити традиційні та розробити нові технологічні процеси, причому більшість традиційних технологій може набагато ефективніше здійснюватися методами вібраційної техніки [12].

Широке використання у різних галузях промисловості мають транспортно-технологічні вібраційні машини, в яких переміщення дисперсних матеріалів поєднується з їх одночасною обробкою – змішуванням, сушінням, зневодненням, грохоченням, класифікацією, охолодженням, гранулюванням, хімічним та фізико-хімічним перетворенням. Подібні масо- та теплообмінні операції виконуються за допомогою вібрації швидше, якісніше та з меншими витратами енергії.

Не є виключенням і така технологічна операція, як промивка мінеральної сировини від глинистих домішок, що її засмічують. Принцип дії вібраційних промивальних машин (або вібротрийок, як їх часто називають) заснований на вібраційному впливі робочих органів цих установок на оброблюваний матеріал, в результаті якого одночасно з транспортуванням останнього відбувається його безупинна циркуляція, яка супроводжується взаємним тертям шматків та диспергуванням глини. Такі машини мають менші габарити, метало- та енергоємність у порівнянні з традиційними промивальними установками барабанного та коритного типів.

За призначенням усі вібротрийки класифікуються на три основні групи – для промивки легко-, середньо- та важкопромивних матеріалів. Ця відмінність обумовлюється властивостями глинистих домішок. Як правило, легкопромивні матеріали засмічені піщанистими глинами, середньопромивні – більш в'язкими, а важкопромивні – в'язкими, що погано піддаються промивці [6].

Особливо ефективними промивальними машинами вібраційного типу вважаються установки з круговими коливаннями робочих органів (барабанів або жолобів) у площині, перпендикулярній напрямку транспортування оброблюваного матеріалу. Обладнання усіх цих груп в основному призначено для промивки достатньо крупнозернистих матеріалів. Для пісків використовуються спеціальні конструкції вібротрийок [13,14].

1.2 Огляд існуючих конструкцій вібраційних промивальних машин

1.2.1 Вібротрийки для легкопромивних матеріалів

Найпростішою конструкцією вібраційної промивальної машини є плоский похилий вібраційний грохот, який працює з системою зрошення матеріалу на ситі 1 (рис. 1.1). Вода подається на матеріал з трубопроводу 2 за допомогою бризкала 3 під тиском 0,15-0,2 МПа. Для таких конструкцій використовують грохоти типу ГІСЛ, технічні характеристики яких приведені у табл. 1.1 [14].

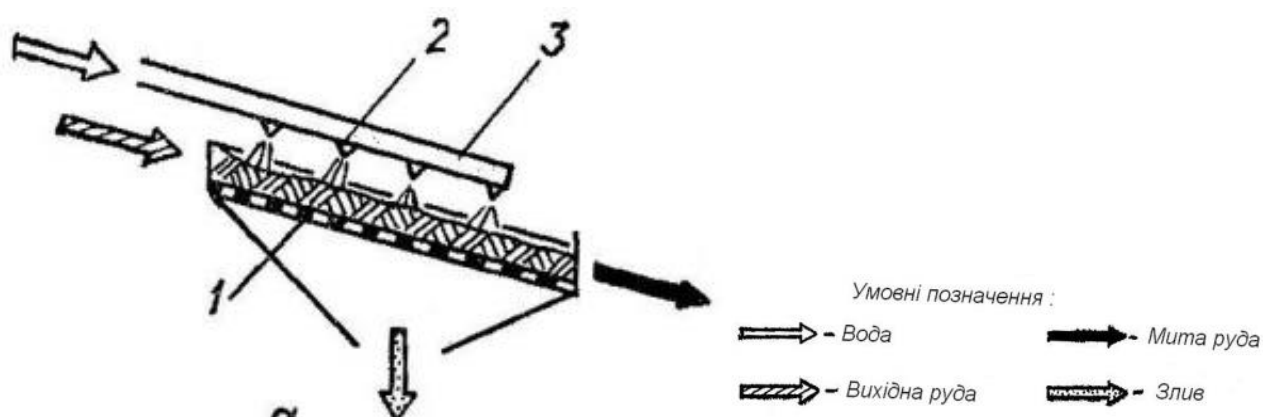


Рисунок 1.1 – Принципова схема плоского похилого промивального грохоту:
1 – сито; 2 – трубопровід з водою; 3 – бризкала

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики грохотів ГІСЛ

Показники	Типорозмір грохоту		
	ГІСЛ-62	ГІСЛ-72	ГІСЛ-82
Розміри сита, мм:			
ширина	2000	2500	3000
довжина	5000	6000	7000
Число сит	2		
Розмір щілинних отворів сит, мм	0,5; 1,0; 1,6; 2,0		
Максимальна крупність живлення, мм	600		
Частота коливань, хв. ⁻¹	735		
Амплітуда коливань, мм	6		
Потужність електродвигуна, кВт	17x2	22x2	40x2

Продовження таблиці 1.1			
Габаритні розміри, мм:			
довжина	5670	6930	8000
ширина	2700	3720	4300
висота	2630	2500	2700
Маса, кг	9165	11900	18000

В якості бризкал на цих грохотах зазвичай використовують пристрої гідроциклонного типу, які створюють водяне віяло великої площі. Схема віялового бризкала показана на рис. 1.2 [14]. Воно складається з труби 3 з торцевими фланцями 6, в яку через патрубок 5 під тиском подається вода. З труби вода розбризкується через приварені до неї витратні патрубки 2 з лопатками 1, які зміщені одна відносно іншої. Для очищення патрубків 2 у трубі передбачені отвори, закриті пробками 4.

Зрошувальні пристрої можуть також бути водоспадного типу, створюючи суцільну водяну завісу упоперек грохоту.

На рис. 1.3 показана схема резонансної вібротришки «Пуратор» німецької фірми «Флемріх» [14]. Промивальна ванна 1 машини виконана у вигляді жолобу прямокутного перетину, що спирається на похилі пластинчасті амортизатори (ресори) 2, закріплені на загальній рамі 5. Коливання ванни забезпечуються за допомогою ексцентрикового приводу 6, який дозволяє змінювати амплітуду коливань від 0 до 18 мм, а частоту – від 6,7 до 11,7 Гц. Завдяки похилому розташуванню ресор ванна здійснює поздовжні коливання, а її хвилясте днище з амплітудою хвилі, що зменшується від завантажувального кінця до розвантажувального, забезпечує інтенсивне підкидання та перемішування матеріалу (у наступних моделях установки днище зроблено ступінчастим). Розвантажувальна частина днища виконана перфорованою; на ній матеріал ополіскується водою з бризкального пристрою 3 та зневоднюється. Відмита глиниста суспензія видаляється через зливні кармани у шламовісбірник 4. Для підвищення ефективності процесу промивки у ванні розміщені важкі ланцюги. Існує декілька типорозмірів такої установки, що відрізняються шириною ванни та числом промивальних ступенів.

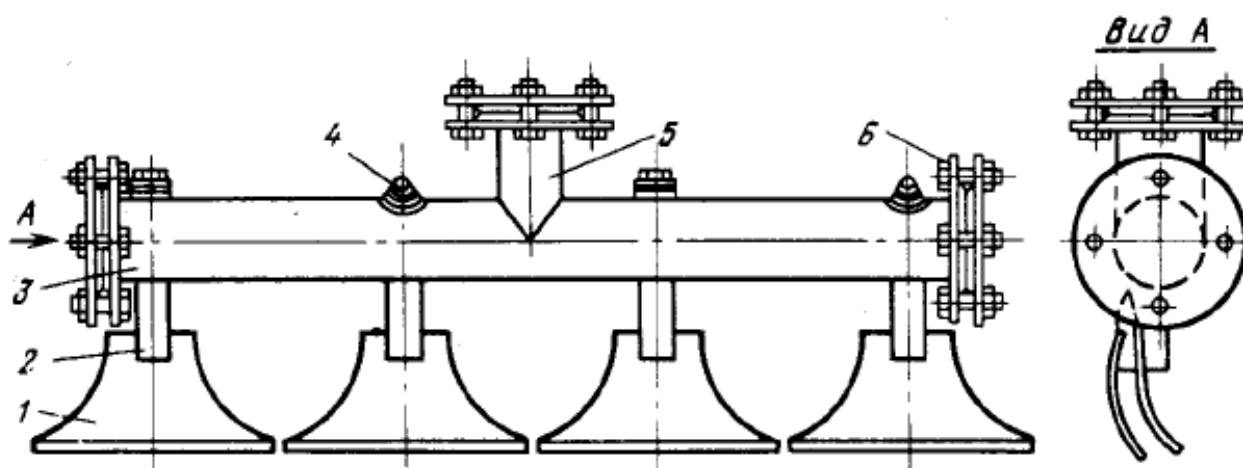


Рисунок 1.2 – Схема віялового бризкаля:
1 – лопатки; 2, 5 – патрубкы; 3 – труба; 4 – пробкы; 6 – торцеві фланці

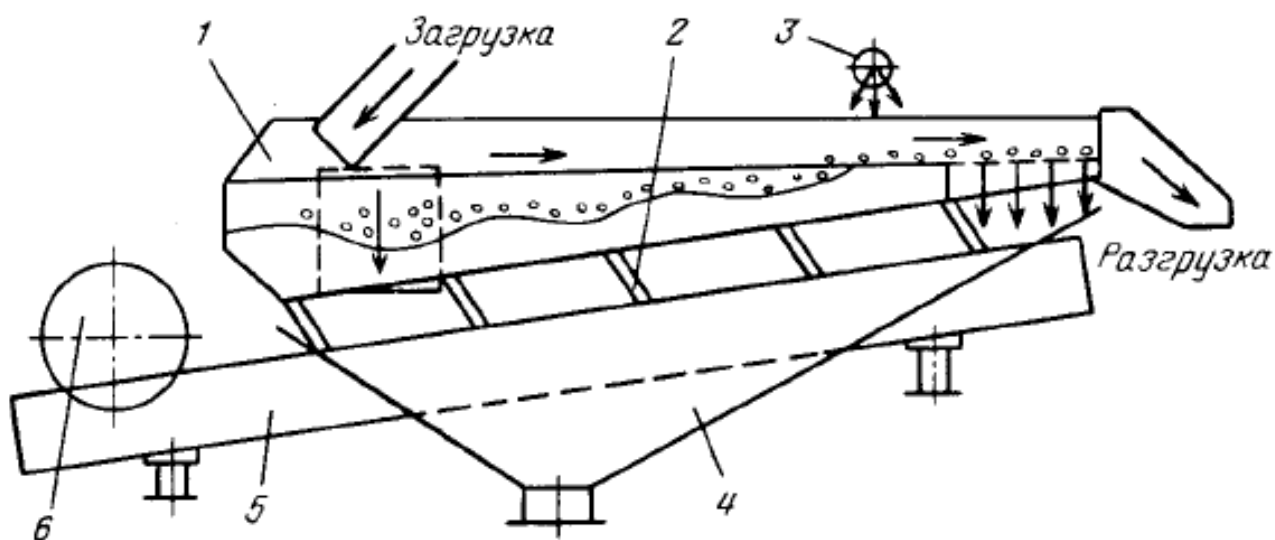


Рисунок 1.3 – Схема резонансної вібростійки «Пуратор»:
1 – ванна; 2 – ресоры; 3 – бризкальний пристрій;
4 – шламозбірник; 5 – рама; 6 – ексцентриковий привод

Ще одним прикладом промивальних установок зі ступінчастим днищем (перепади між ступенями 140 мм) є віброкаскадні грохоти ГВК-1 та ГВК-2 конструкції інституту Південгіпроруда, які складаються з коробу 1, підвісного амортизаційного пристрою 2, труби для подачі води 4, віброзбудника 5, каскадних сит 3, клинопасової передачі 7 та електродвигуна 6 (рис. 1.4) [14].

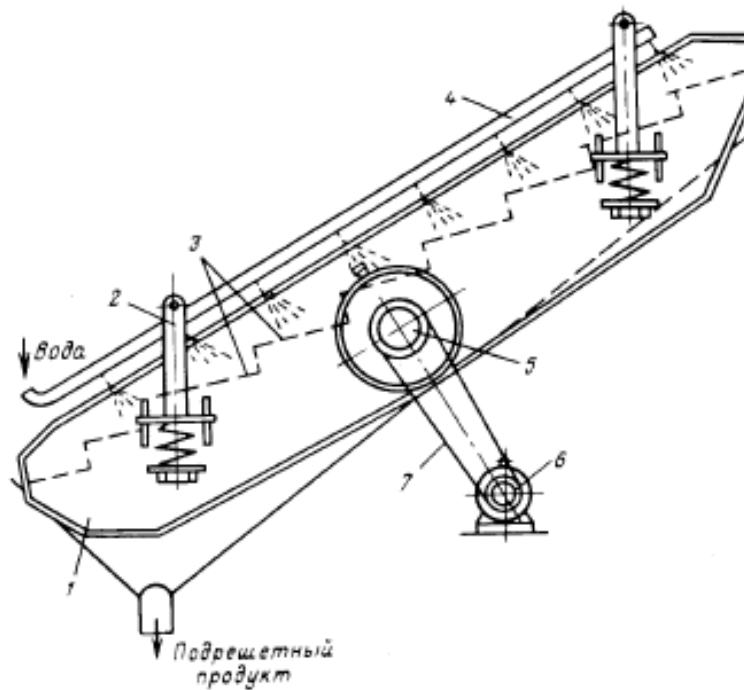


Рисунок 1.4 – Схема віброкаскадного грохоту конструкції Південгіпроруди:
1 – короб; 2 – підвісний амортизаційний пристрій; 3 – каскадні сита; 4 – водяна труда; 5 – віброзбудник; 6 – електродвигун; 7 – клинопасова передача

Грохоти німецької фірми «Кльокнер-Гумбольд-Дойц» мають нерухому заповнену водою ванну 1 призматичної форми з увігнутим ситом 2, яке у завантажувальній частині має кут нахилу 45° , а в розвантажувальній – 10° (рис. 1.5) [14]. Сито здійснює спрямовані коливання за допомогою приводу 3, завдяки яким матеріал переміщається догори. Сито має розташовану над водою ділянку зневоднення, що дозволяє відразу завантажувати промитий продукт на транспортні механізми або в інші технологічні установки.

1.2.2 Машини для середньопромивних матеріалів

Підвищення інтенсивності процесу циркуляції матеріалу у ванні можна досягти шляхом використання кругових коливань, які забезпечують максимальний взаємний контакт зерен при одночасному переміщенні їх відносно інших. На рис. 1.6а показана принципова схема промивальної вібромашини для середньопромивних матеріалів [1]. Вона має дві промивальні ванни 1 трубчастої форми з перфорованими днищами; ванни сполучаються траверсами 2 і спираються на раму 7 че-

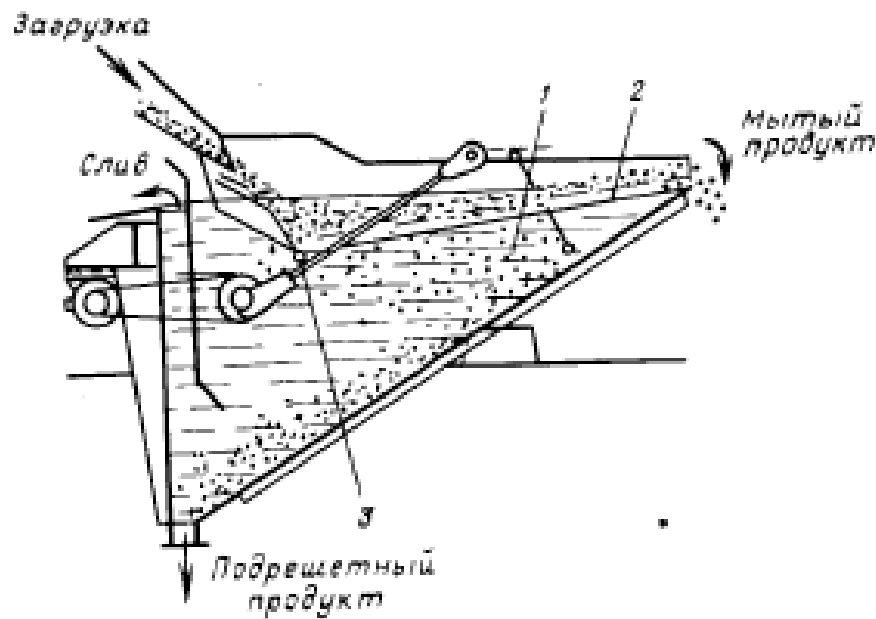


Рисунок 1.5 – Схема промивального грохоту фірми «Кльокнер-Гумбольд-Дойц»:
1 – ванна; 2 – увігнуте сито

рез пружинні амортизатори 5. Джерелом поперечний кругових коливань служить встановлений у центрі системи дебалансний вібробудник 3, що живиться від електродвигуна 8. Матеріал зрошується бризкальними пристроями 4, а для створення достатнього його шару на розвантажувальному кінці ванни передбачений зливний поріг 6. Забруднений матеріал рівномірно подається в обидві ванни, суміш диспергованої глини з водою видаляється через перфоровані днища, а мита руда перед виходом з машини ополіскується чистою водою під тиском.

За схемою на рис. 1.6а виконані вібромийки американської фірми «Ніагара» та британських «Едгар-Аллен» і «Імперіал Кемікал Індастріз», призначені для промивання матеріалів із вмістом глинистих домішок до 10%. Усередині ванн встановлені діафрагми для змінення напрямку руху матеріалу у міру його просування від місць завантаження до місць розвантаження.

Подібну конструкцію має також вібромийка типу ВМІ інституту ВНДПІс-тротмсиловина, схема якої показана на рис. 1.7 [14]. У даному випадку ванни виконані у вигляді жолобів з півкруглими днищами і високими бортами, що дозволяє значно підвищити товщину шару оброблюваного матеріалу, а, значить, забезпечити кращу ефективність процесу диспергування глинистих включень.

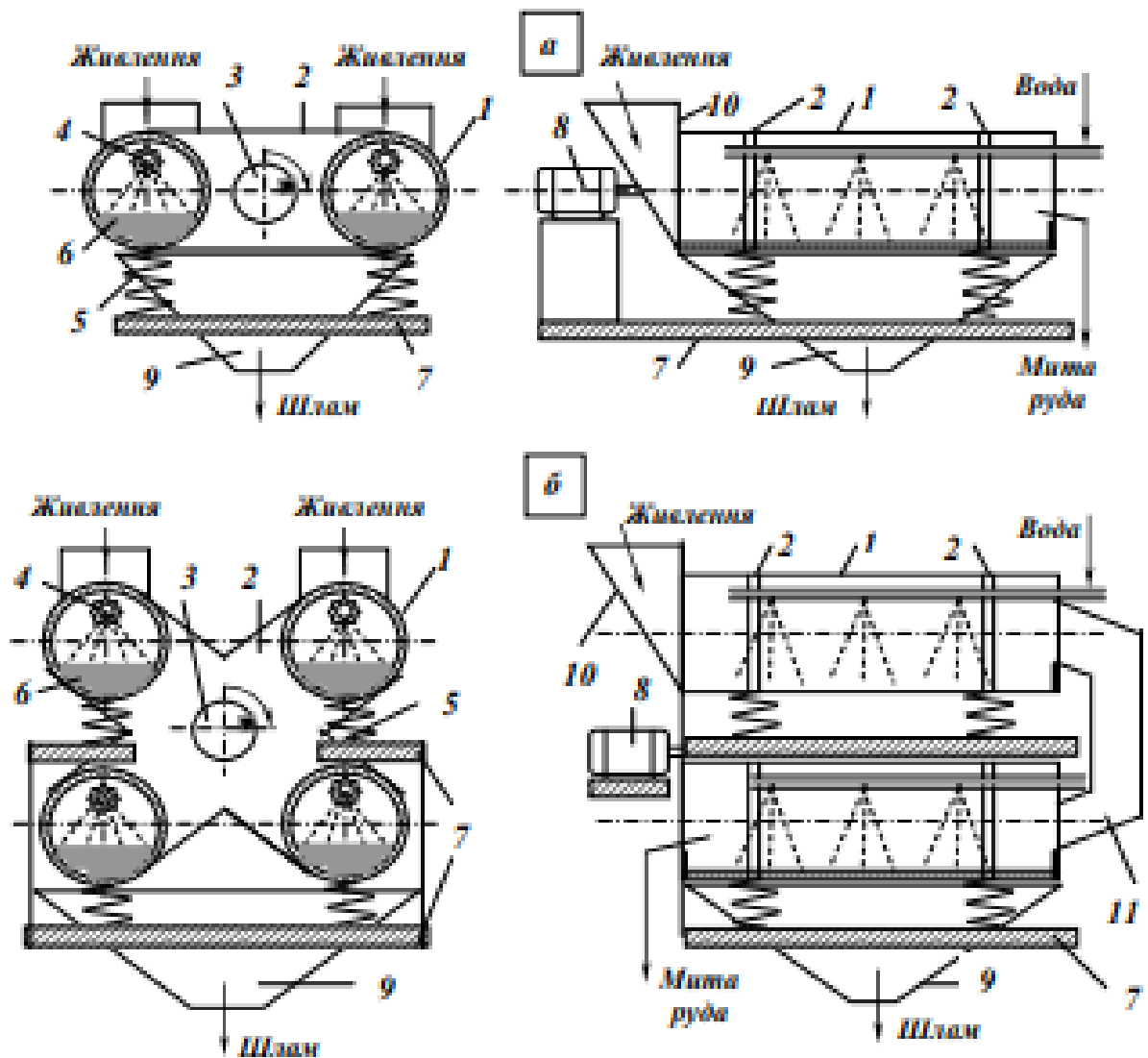


Рисунок 1.6 – Схема вібромийки для середньо- (а)
та важкопримивних (б) матеріалів:

- 1 – ванни; 2 – траверси; 3 – вібробудувач; 4 – бризкальні пристрої;
5 – пружинні амортизатори; 6 – зливний поріг; 7 – рама; 8 – електродвигун;
9 – піддон; 10 - завантажувальна лійка; 11 – перехідний патрубок

Установка підвішується на пружинах до рами, а її жолоби нахилені під кутом $1^{\circ}30'$ у бік розвантаження.

Технічні характеристики деяких типорозмірів вібромийок ВМІ приведені у табл. 1.2 [1].

Загальним недоліком усіх вібромийок даного класу є злипання та огрудкування глинистих включень у достатньо крупні конгломерати, розміри яких значно перевищують розміри грудок глини, що поступають у машину.

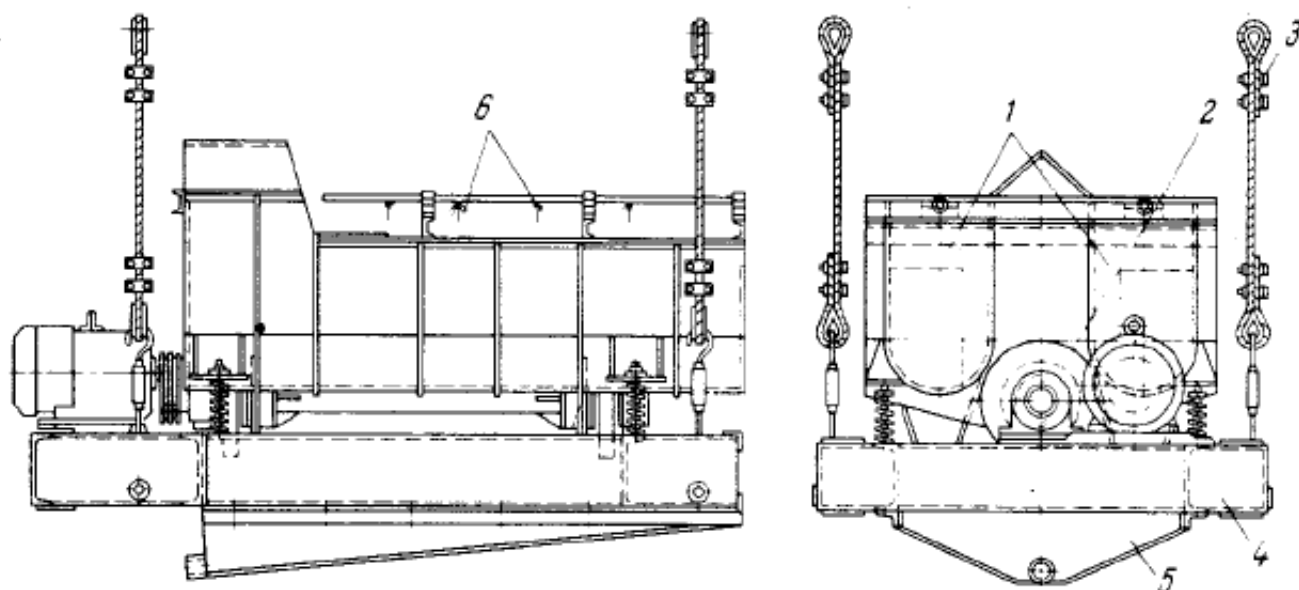


Рисунок 1.7 – Схема вібромийки ВМІ інституту ВНДПШтростировина:

1 – ванна; 2 – віброзбудник; 3 – пружинна підвіска; 4 – рама;
5 – шламозбірник; 6 – бризкальні пристрої

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики вібромийок

Показники	Для середньо-промивних матеріалів				Для важко-промивних матеріалів	
	ВМІ-25	ВМІ-40	ВМІ-70	ВМІ-100	СМД-88	СМД-158
Промивальна ванна:						
число	2	2	2	2	4	2
габарити, мм:						
діаметр	-	-	-	-	800	700
ширина	400	500	600	800	-	-
довжина	1000	3200	3200	3200	3000	2520
кут нахилу, град.	1-2	1-2	1-2	1-2	2-3	0-2
Режим коливань:						
частота, хв. ⁻¹	970	970	970	970	750	980
амплітуда, мм	5,7	5,5	5,0	5,0	8,0	7,0
Максимальна крупність живлення, мм	80	100	120	150	150	150
Витрата води, м ³ /т	1-1,5	1-1,5	1-1,5	1-1,5	1-1,5	1-1,5

Продовження таблиці 1.2						
Продуктивність, т/г	25	40	55	70	60	50
Потужність електродвигуна, кВт	17	28	40	55	44	40
Габаритні розміри, м:						
довжина	3220	4400	4750	4900	4000	4300
ширина	1500	1750	2200	2450	2750	3000
висота	2200	2750	2750	2900	3100	2820
Маса, кг	1700	2700	3200	4200	8900	3300

1.2.3 Машини для важкопромивних матеріалів

Принципова схема такої вібромийки показана на рис. 1.6б. Подібні машини мають у більшості випадків чотири ванни. Наприклад, конструкція СМД-88 розробки інституту ВНДПбудмаш, схема якої показана на рис. 1.8 [14], призначена для промивання матеріалів крупністю 5-150 мм.

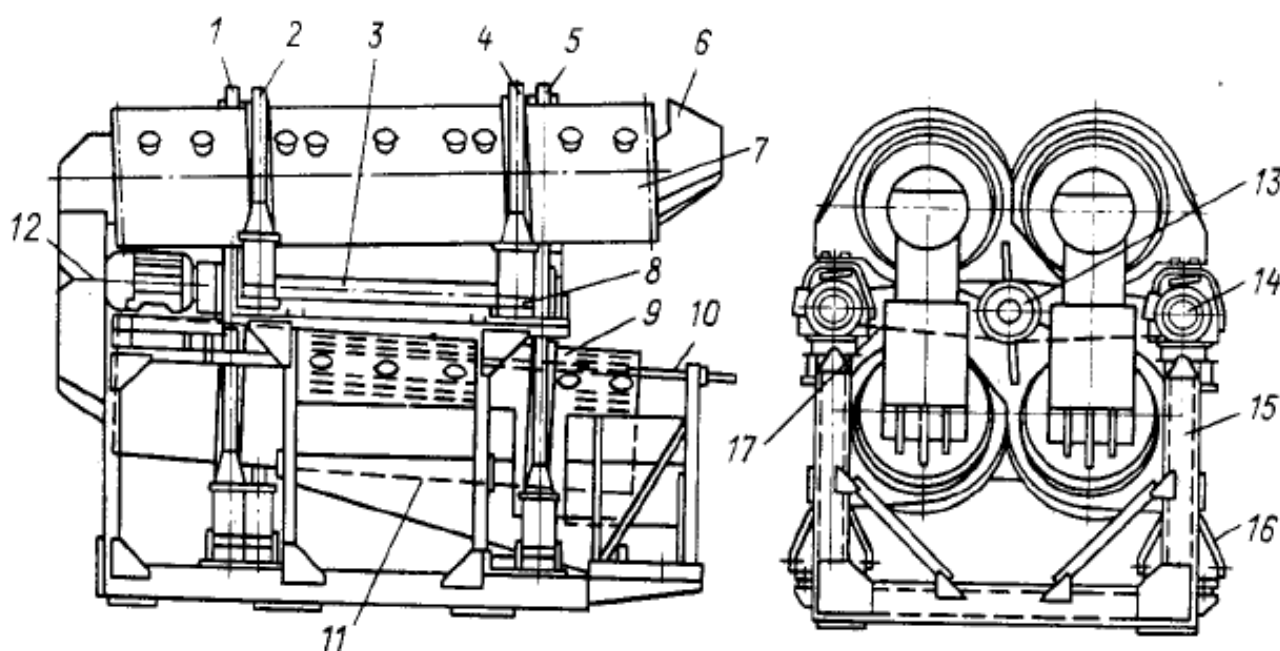


Рисунок 1.8 – Схема вібромийки СМД-88:

1, 2, 4, 5 – траверси; 3 – приводний вал; 6 – завантажувальні лійки; 7, 9 – відповідно дві верхні та дві нижні ванни; 8 – пружинні амортизатори; 10 – зрошувальні труби; 11 – водозбірний зумпф; 12 – перехідні лійки; 13 – шків; 14 – електродвигуни; 15 – рама; 16 – гумовий стабілізатор; 17 – клинопасова передача

Машина постачена чотирма трубоподібними промивальними ваннами 7 і 9 (відповідно дві верхні і дві нижні), жорстко сполученими між собою попарно діагональними траверсами 1, 2 і 4, 5 у дві маси, що коливаються у протифазі. Траверси спираються на два пружинних амортизатора 8, встановлених на рамі 15 і постачених гумовими стабілізаторами 16 для гасіння вільних коливань. Приводний вал 3 зі шківом 13 має чотири ексцентрикові втулки зі сферичними роликівими підшипниками, закріпленими у траверсах. Осі підшипників траверс зміщені на величину ексцентриситету втулок, а одна відносно іншої – на подвійний ексцентриситет. За такої схеми ванни отримують протифазні коливання, що забезпечує динамічну урівноваженість установки.

Привод машини складається з двох електродвигунів 14, встановлених на майданчиках, що шарнірно поєднані з рамою 15, та клинопасової передачі 17. Верхні і нижні ванни постачені перехідними лійками 12. Для зливу відпрацьованої води з диспергованою глиною у нижній частині рами встановлений водозбірний зумпф 11. Зрошувальні труби 10 призначені для ополіскування готового продукту.

Технічні характеристики вібромийок СМД приведені у табл. 1.2.

Існують також і двованні установки для вібраційної промивки важкопромивних матеріалів. В якості прикладу можна привести установку ДВ-2 для руд чорних і кольорових металів, а також пісків розсипних родовищ із вмістом глини до 50% (рис. 1.9) [14].

Дві паралельно встановлені ванни 1 сполучені між собою у трьох місцях хомутами 2 і спираються на раму через пружинні амортизатори 5 у кількості 36 штук. Між ваннами розташований вібраційний вузол у складі трьох послідовно встановлених віброзбудників, сполучених між собою проміжними валами, які обертаються від приводу 7 через з'єднувальний вал 6.

Нарешті, на рис. 1.10 можна побачити схему трьохванної вібромийки ВМ-100х350 конструкції інституту Південгіпроруда, призначеної для промивання та сортування матеріалів крупністю 0-350 мм із вмістом важкодиспергової глини [14].

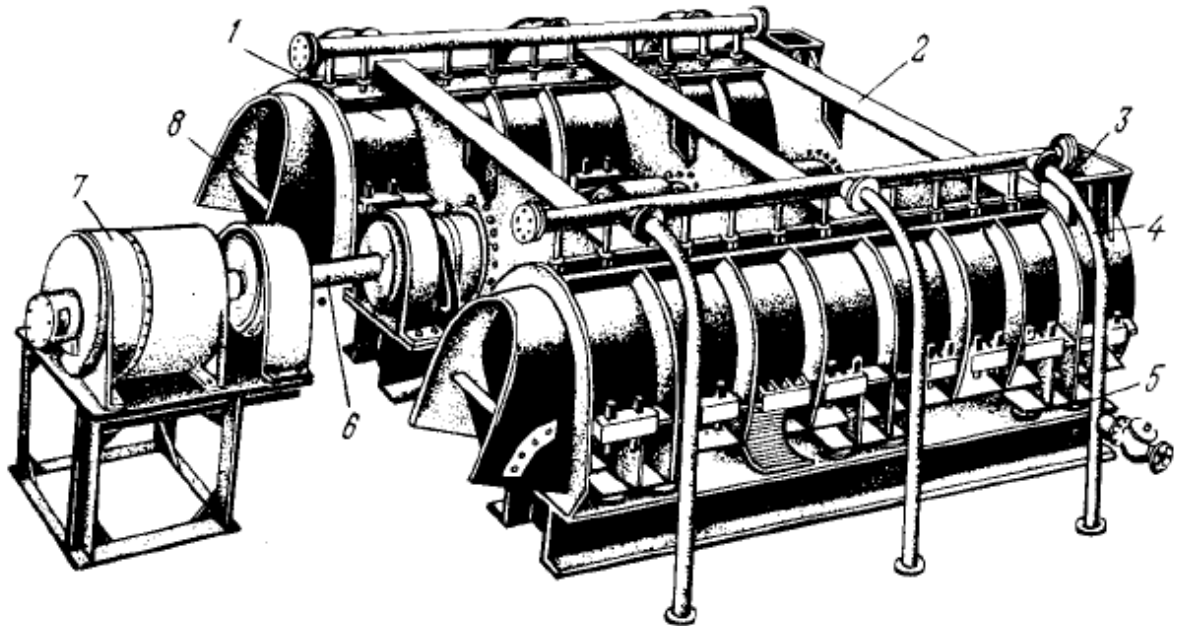


Рисунок 1.9 – Вібраційна промивальна машина ДВ-2:

1 – ванни; 2 – хомути; 3 – завантажувальна лійка; 4 – бризкальні пристрої; 5 – пружинні амортизатори; 6 – з'єднувальний вал; 7 – привод; 8 – підпирний поріг

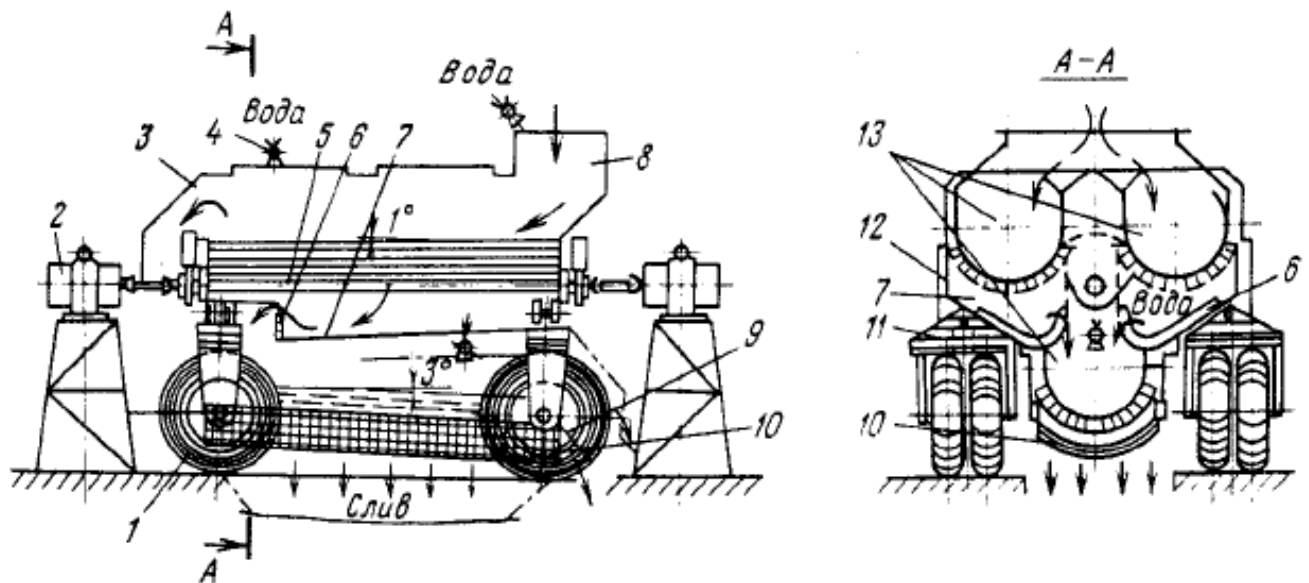


Рисунок 1.10 – Схема вібраційної промивальної машини ВМ-100х350:

1 – пневмобалони; 2 – електродвигуни; 3, 9 – розвантажувальні лійки; 4 – бризкальні пристрої; 5 – дебалансний вал; 6 – зливні лійки; 7 – корпус; 8 – завантажувальна лійка; 10 – зневоднювальне сито; 11 – вилки; 12 – амортизатори; 13 – ванни

Машина має дві верхні та одну нижню ванни 13 жолобчастої форми з коло-
сниковими решітками у нижній частині (ширина щілин у верхніх ваннах 20 мм, у
нижній – 10 мм). Верхні ванни нахилені у бік розвантаження під кутом 1° , а ниж-

ня – у протилежний бік під кутом 3° . Корпус 7 машини встановлений на амортизаторах 12, які через вилки 11 спираються на пневмобалони 1. У нижній частині установки розташовано зневоднювальне сито 10 з вічками розміром 5 мм. Завантажувальна лійка 8 закріплена на верхніх ваннах. Усі ванни і сита постачені розвантажувальними лійками 3 і 9. Між верхніми і нижньою ваннами знаходяться зливні лійки 6. Через центр коливних мас системи проходить дебалансний вал 5, який отримує обертальний момент від двох електродвигунів 2 через карданні вали.

Принцип дії машини наступний. Матеріал завантажується через лійку 8 одночасно в обидві верхні ванни. Там він зрошується водою з бризкальних пристроїв 4 і піддається круговим поперечним вібраційним коливанням. Промитий крупношматковий матеріал (20-350 мм) видаляється з ванн через розвантажувальну лійку 3. Відмита диспергована глина разом з дрібними каменями (0-20 мм) через зливні лійки 6 потрапляє у нижню ванну. Там зерна крупністю менше 10 мм спрямовуються на зневоднювальне сито 10, а зерна крупністю 10-20 мм видаляються через розвантажувальну лійку 9. На ситі відбувається класифікація матеріалу, під час якої пісок (0-5 мм) разом з глинистими шламами уходить у злив, а надрешітний продукт (5-10 мм) видаляється через розвантажувальну лійку.

У цілому вібростійки характеризуються високою продуктивністю, малими габаритами, невисокими витратами електроенергії (0,25-1,0 кВт·г/т) і води (2-3 м³/м³). Проте найбільш ефективними вони виявляються для промивки легко- та середньопромивних матеріалів. Що стосується обробки сировини, до складу якої входять в'язкі, важкопромивні сорти глини, то ці конструкції не завжди здатні забезпечувати отримання готового продукту, який би задовольняв вимогам стандарту щодо вмісту глинистих включень.

З огляду на це, вібраційні промивальні машини потребують подальшого удосконалення, для чого необхідно провести додаткові дослідження процесу промивки та розробити методику його розрахунку для визначення раціональних параметрів подібного обладнання.

Висновки:

- процес промивки мінеральної сировини водою включає операції дезінтеграції гірничої маси, зцементованої глиною, відокремлення та диспергування останньої, а також видалення утвореної глинистої суспензії;
- найбільш перспективним типом промивального обладнання на сьогоднішній день є вібраційне. Використання вібраційних технологій і техніки надзвичайно ефективно у гірничій та гірничозбагачувальній промисловості, зокрема для очищення рудних мас від глинистих включень;
- існують різні типи вібраційних мийок, розраховані на промивку матеріалів, що відрізняються важкістю здійснення цієї операції, а саме: легко-, середньо- та важкопромивних. Чим більше жирність та в'язкість глини, яка засмічує гірничу масу, тим більш енергійної обробки вимагає остання;
- проведений аналіз сучасних конструкцій вібротрийок показав, що для умов роботи з важкопромивними матеріалами таке обладнання вимагає подальших досліджень з метою створення більш ефективних конструкцій.

1.3 Мета і задачі дослідження

Мета роботи – обґрунтування раціональних параметрів вібраційних промивальних машин шляхом дослідження кінетики процесу промивки мінеральної сировини.

Виконані в роботі аналіз технології і техніки промивки гірничих порід вібраційним способом та огляд сучасних конструкцій мийок вібраційного типу дозволили виявити існуючі недоліки такого обладнання, що у певних випадках не забезпечують потрібної якості промивки. Для їх усунення і досягнення мети роботи необхідно вирішити наступні задачі:

- вибрати методи теоретичних та експериментальних досліджень;
- зробити оцінку промивальної здатності мінеральної сировини;
- дослідити характер процесу промивки матеріалів з точки зору особливості його кінетики;

- проаналізувати основні закономірності процесу промивки у вібраційних промивальних машинах;
- обґрунтувати конструктивні та експлуатаційні параметри вібраційних машин для промивки крупнозернистих матеріалів;
- розробити методику розрахунку процесу промивки мінеральної сировини у вібротриках.

Об'єкт дослідження – технологічний процес промивки мінеральної сировини від забруднюючих її глинистих включень в установках вібраційної дії.

Предмет дослідження – вібраційні мийки для звільнення гірничих порід від глинистих домішок.

2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

Проведення наукових досліджень будь-якого рівня або виду (фундаментальних або прикладних, теоретичних чи експериментальних) потребує обов'язкового застосування загальних та спеціальних методів. До них відносяться аналіз і синтез, індукція та дедукція, абстрагування та конкретизація, різні види моделювання та багато інших. За їх допомогою можна отримати надійні і достовірні результати теоретичних та експериментальних досліджень.

У представлений магістерській роботі використовувалися різні методи. Наприклад, аналітичний метод досліджень застосовувався при вивченні стану пилання та обґрунтуванні вибору обладнання, а саме: промивальних машин вібраційного типу.

Для аналізу промивальної здатності мінеральної сировини була використана розроблена в інституті ВНДІнеруд методика безпосередньої оцінки промивності матеріалу за результатами дослідної промивки проби матеріалу у спеціальному апараті для випробування щебеню і гравію на промивність.

Величина крутного моменту на валу промивальної машини визначалася експериментальним шляхом за допомогою тензометричного методу дослідження, а значення резонансних амплітуд – шляхом використання методу замірів із застосуванням індуктивного датчика.

В якості критерію інтенсивності процесу промивки зручніше за все прийняти характерний час промивки τ . Його залежність від багатьох факторів, у тому числі фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу та глини, що його засмічує, знаходилася у результаті статистичної обробки експериментальних даних з використанням методів теорії подібності та розмірності.

Для аналізу результатів експериментальних досліджень процесу вібраційної промивки застосовувалася математична модель процесу, складена на основі його попередньо розробленої фізичної моделі, під якою слід розуміти логічний аналіз та систематизацію основних явищ, що дозволяють представити картину протікання процесу.

Сучасна математична інтерпретація кінетики процесів збагачення корисних копалин заснована на законі дії мас: маса корисного компонента, що вилучається у концентрат за одиницю часу, пропорційна масі корисного компонента, що знаходиться у даний момент у збагачуваному матеріалі. Вона цілком придатна і для процесу диспергування глини під час промивки.

Для оцінки параметрів, що обумовлюють характер залежності величини вилучення диспергованої глини у злив від часу процесу промивки використовувався метод трьох підсумків або метод трьох точок.

Для підтвердження тези, що кінетика диспергування глини під час промивки описується саме *S*-подібною кривою, застосовувався динамічний аналіз, а для рішення рівнянь, що описують процес диспергування глини – метод Фур'є з розкладанням у тригонометричний ряд.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕТИКИ ПРОЦЕСУ ПРОМИВКИ МІНЕРАЛЬНОЇ СИРОВИНИ У ВІБРАЦІЙНИХ ПРОМИВАЛЬНИХ МАШИНАХ

3.1 Загальні зауваження

Знання особливостей кінетики процесу промивки є необхідною базою для оцінки ступеня придатності мінеральної сировини та розробки методики технологічних розрахунків промивального обладнання.

Дослідження кінетики промивки дозволить визначити такий важливий показник, як час, необхідний для промивки матеріалу, та виявити характер переходу глини з крупнозернистого стану у тонкодисперсний.

Кінетика процесу промивки вивчає змінення вилучення ε та швидкості вилучення глини у злив (швидкості диспергування) $d\varepsilon/dt$ у часі.

Кінетику процесу промивки вивчали такі відомі фахівці, як Серго Е.Е., Сердюк Б.П., Малецький Н.А. та інші.

3.2 Характеристики процесу промивки матеріалів

Свого часу Серго Е.Е. встановив, що в якості апроксимуючої залежності для описання процесу промивки може бути прийнято експоненційно-статечне рівняння, аналогічне рівнянню кінетики подрібнення Товарова В.В. [14]:

$$\gamma = 100 \exp(-Kt^m), \quad (3.1)$$

де γ – вихід митої руди під час промивки, %; K – постійний коефіцієнт, що характеризує відносну швидкість промивки; t – час промивки; m – параметр, що характеризує змінення відносної швидкості промивки.

Сердюк Б.П. під час дослідження процесу промивки щебеню і гравію на степах струминної та вібраційної промивки з використанням фотодатчиків, які безупинно реєстрували концентрацію глини у зливу, виявив, що швидкість вилучення глини у злив спочатку зростає, а потім поступово зменшується. На рис. 3.1 по-

казані отримані при цьому залежності від часу промивки t швидкості вилучення $d\varepsilon/dt$ (а) та вилучення ε (б) для глин різних родовищ.

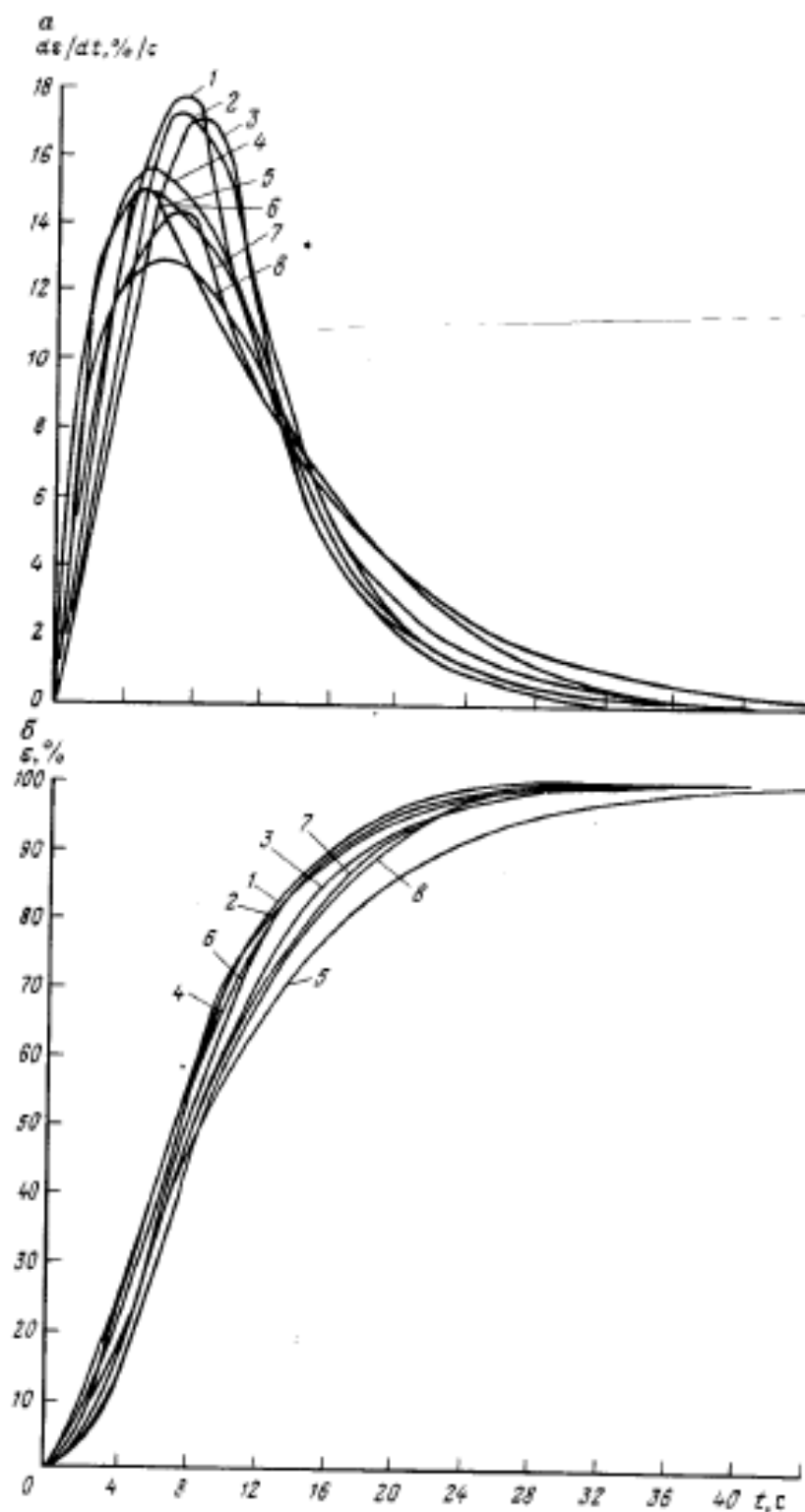


Рисунок 3.1 – Залежності від часу промивки t швидкості вилучення $d\varepsilon/dt$ (а) та вилучення ε (б):
1-8 – глини різних родовищ

Результати цих експериментальних досліджень продемонстрували, зокрема, що приведена вище формула (3.1) недостатньо точно описує особливості кінетики процесу промивки у вібраційних машинах.

Для зручності опису процесу доцільно увести поняття інтенсивності промивки J , яка визначатиметься як перша похідна у часі від кількості глинистих домішок, що видаляються у вигляді глинистої суспензії (шламу) з матеріалу, який піддається промивці [13]:

$$J = \frac{dQ}{dt}, \quad (3.2)$$

де t – час (тривалість) промивки; Q – кількість глинистих домішок у матеріалі, що промивається.

Характер змінення інтенсивності промивки, показаний на рис. 3.1б, пояснюється наступним чином. На початку процесу промивки глинисті домішки знаходяться у складі матеріалу в основному у напівтвердому та пластичному станах, що й обумовлює невисоку інтенсивність їх диспергування та видалення промивною водою. Пізніше глинисті включення поступово набухають, розмокають, набувають плинного стану і легше піддаються диспергуванню. У міру розвитку цих явищ інтенсивність промивки зростає до певного максимуму ($J_{\max}$), величина якого визначається схильністю глин до розмивання, фізико-механічними властивостями оброблюваного матеріалу та параметрами процесу промивки (витратою промивної води та інтенсивністю механічного впливу на матеріал). Після досягнення максимуму інтенсивності процес промивки, який має стохастичний характер, підкоряється закону дії мас і поступово уповільнюється в міру зменшення вмісту глинистих домішок у матеріалі. Найпростіша залежність, що задовольняє описаному характеру змінення інтенсивності промивки у часі, виглядає таким чином:

$$\frac{dJ}{dt} = -JK \left(\frac{1}{\tau} - \frac{1}{T} \right). \quad (3.3)$$

Звідси маємо:

$$J = \frac{K}{\tau \Gamma(K+1)} \left(K \frac{t}{\tau} \right)^K e^{-K \frac{t}{\tau}}, \quad (3.4)$$

де $\Gamma(K + 1)$ – гамма-функція у формулі Ейлера.

Величина вилучення глини у злив ε може бути визначена за наступною формулою:

$$\varepsilon = q \int_0^t J dt = \frac{K}{\tau \Gamma(K+1)} \int_0^t \left(K \frac{t}{\tau}\right)^K e^{-K \frac{t}{\tau}} dt,$$

або

$$\varepsilon = \frac{\gamma\left(K+1; K \frac{t}{\tau}\right)}{\Gamma(K+1)}, \quad (3.5)$$

де $\gamma\left(K + 1; K \frac{t}{\tau}\right)$ – неповна гамма-функція.

Таким чином, кінетика процесу промивки визначається здебільшого двома параметрами:

- характерним часом промивки τ (часом промивки, необхідним для досягнення максимальної інтенсивності процесу);
- коефіцієнтом K , що характеризує промивність матеріалу (тобто його здатність до промивки).

Параметри τ і K можуть бути визначені за методикою оцінки промивальної здатності матеріалу, яка приводить нижче, у п. 3.3.

Розрахункова кінетика процесу промивки за рівнянням (3.5) представлена у табл. 3.1 і 3.2 та на рис. 3.2 і 3.3.

Для аналізу результатів експериментальних досліджень кінетики процесу промивки можуть бути використані методи математичного моделювання, адже ємності ванн вібраційних промивальних машин доволі великі і під час роботи в них знаходиться по декілька тонн матеріалу різної крупності (від 300 до 0,1 мм).

З усіх відомих методів аналізу найбільш прогресивним і перспективним представляється динамічний метод, який враховує взаємодію сил, що змінюють стан системи у часі. Але вихідні рівняння кінетики процесу промивки, що потрібні для використання цього методу, вельми складні.

Найпростішим методом аналізу є статистичний. Він застосовується практично в усіх галузях науки і техніки. Побудова статистичної моделі полягає у виборі форми рівняння, яке описує вплив різних факторів, та оцінці його параметрів за допомогою того чи іншого способу. Проте при такому підході важко виявити при-

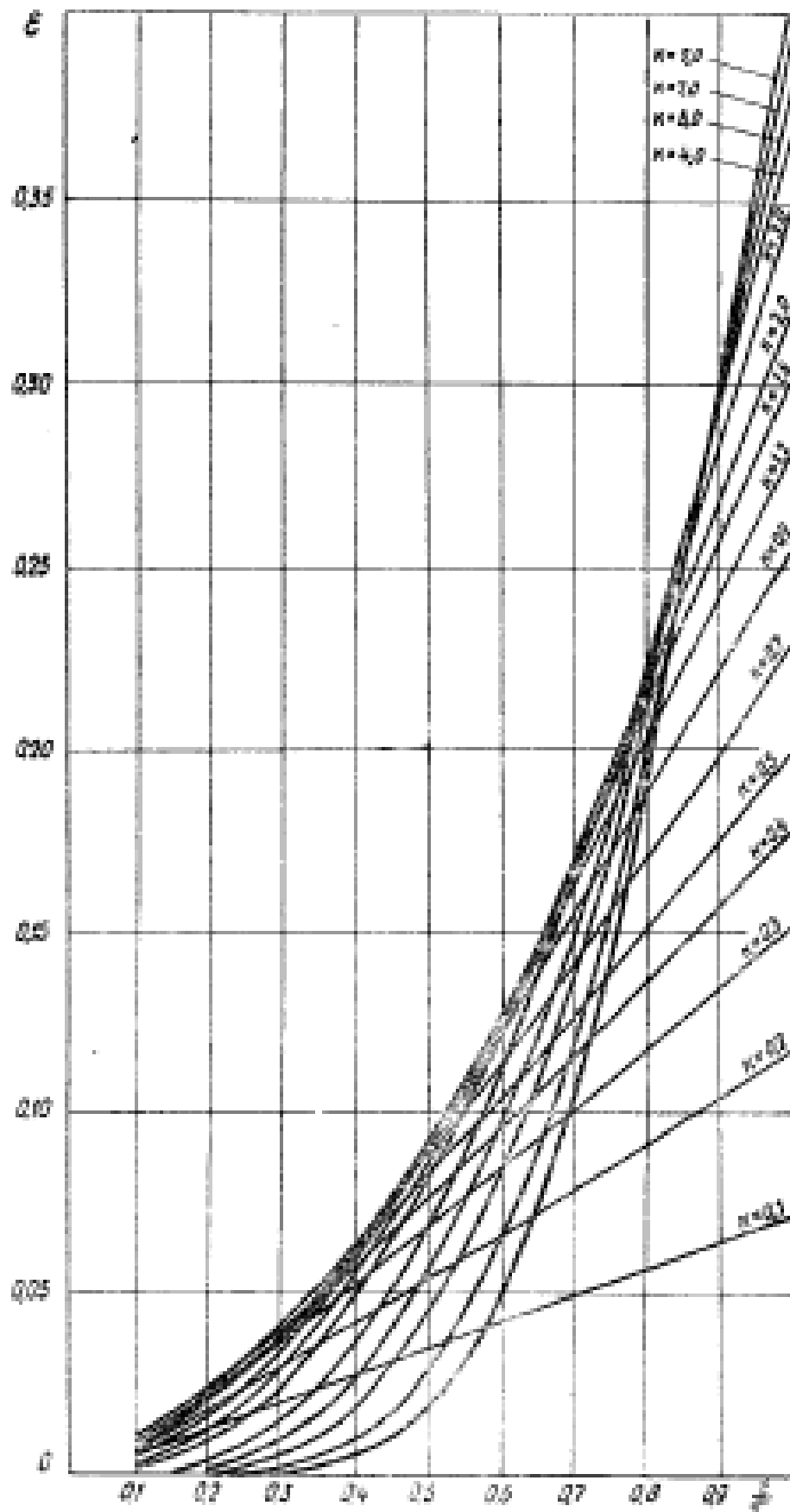


Рисунок 3.2 – Розрахункова кінетика процесу промивки ($t/\tau = 0,1-1,0$)

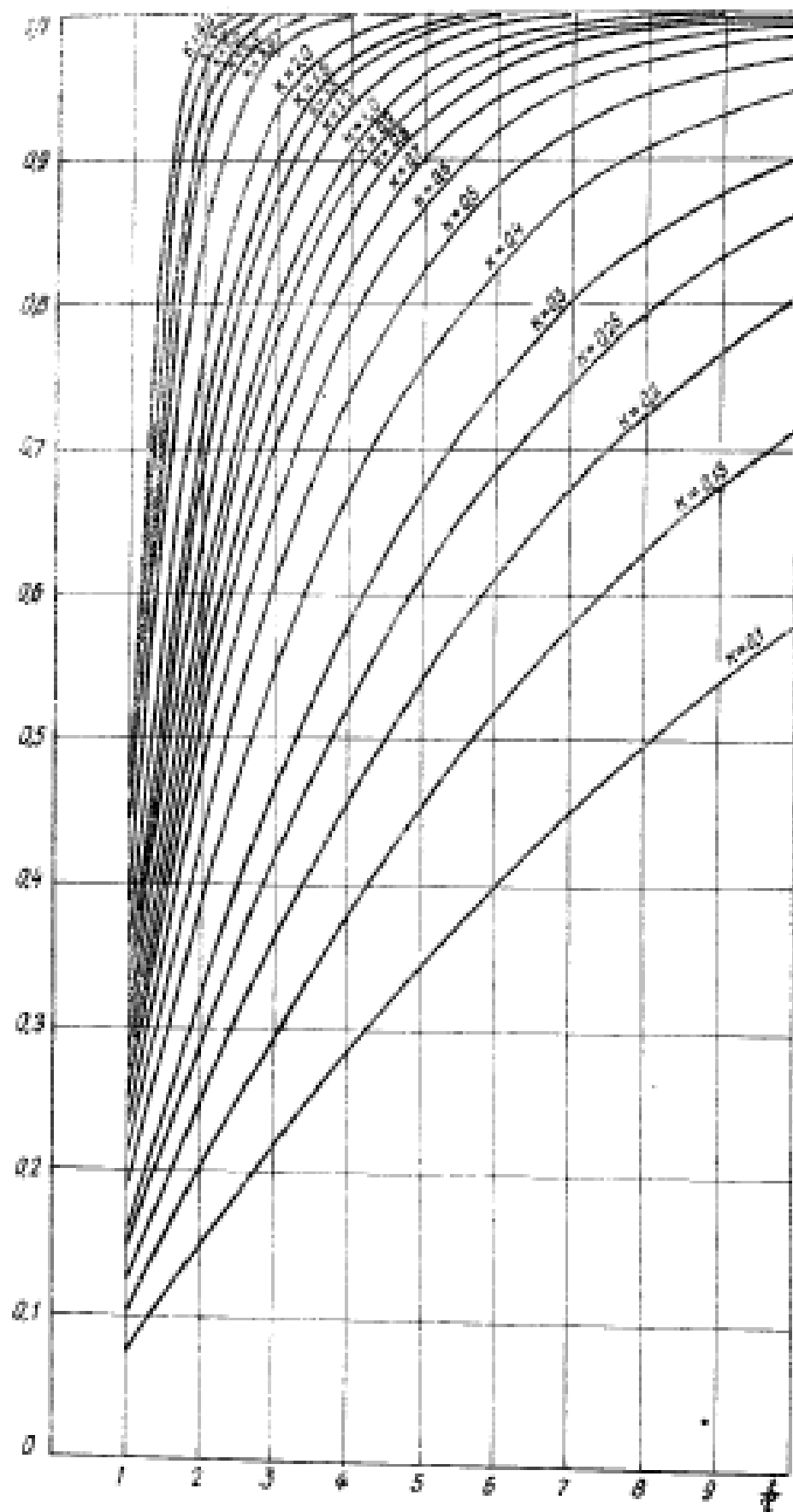


Рисунок 3.3 – Розрахункова кінетика процесу промивки ($t/\tau = 1,0-10,0$)

чину, що обумовлює характер змінення кривої, а це є суттєвим недоліком.

Тому у даному випадку найбільш доцільним представляється застосування математичної моделі процесу, складеної на основі його попередньо розробленої фізичної моделі [14]. Під фізичною моделлю розглянутого процесу слід розуміти логічний аналіз та систематизацію основних явищ, які дозволяють представити картину протікання процесу. При цьому під час створення фізичної моделі процесу промивки потрібно прийняти наступні допущення:

- процес промивки полягає у диспергуванні глини з переходом її у рідку фазу (характери змінення кривих вилучення глини у злив та диспергування ідентичні), тобто утворення глинистої суспензії;
- диспергування глини відбувається лише внаслідок тертя поверхонь неруйнівних каменів корисної копалини відносно поверхонь шматків глини;
- оброблюваний матеріал складається із суміші зерен каменю і глини, які мають форму кулі однакового розміру;
- міцність глини протягом усього часу промивки залишається постійною, адже внаслідок інтенсивного перемішування процес диспергування протікає досить швидко.

Сучасна математична інтерпретація кінетики процесів збагачення корисних копалин заснована на законі дії мас: маса корисного компонента, що вилучається у концентрат за одиницю часу, пропорційна масі корисного компонента, що знаходиться у даний момент у збагачуваному матеріалі. Вона цілком придатна і для процесу диспергування глини під час промивки.

Якщо припустити, що усі шматки глини мають однаковий розмір, то швидкість її диспергування буде пропорційною зменшенню поверхні цих шматків.

У математичній формі закон змінення маси шматка глини можна записати у наступному вигляді:

$$\frac{dm}{dt} = -Km, \quad (3.6)$$

де m – маса глини у незруйнованому стані; K – коефіцієнт швидкості диспергування.

Якщо розділити змінні та інтегрувати обидві частини цього рівняння, можна отримати:

$$\ln m = -Kt + C. \quad (3.7)$$

При $t = 0$ і $m = m_{\text{вих}}$ маємо: $C = \ln m_{\text{вих}}$, де $m_{\text{вих}}$ – маса глини у вихідному матеріалі. Після перетворень отримаємо:

$$m = m_{\text{вих}} \exp(-Kt). \quad (3.8)$$

Маса диспергованої глини:

$$m_{\text{д}} = m_{\text{вих}} - m_{\text{вих}} \exp(-Kt) = m_{\text{вих}} [1 - \exp(-Kt)]. \quad (3.9)$$

Вилучення глини у злив:

$$\varepsilon = \frac{m_{\text{д}}}{m_{\text{вих}}} = 1 - \exp(-Kt). \quad (3.10)$$

Таким чином, перехід диспергованої глини у рідкий стан описується експоненційною залежністю. Проте вона буде достатньо точною лише за умови відносно повільного перемішування матеріалу. При інтенсивному перемішуванні, яке має місце під час вібраційного промивання, потрібно додатково враховувати інерційність процесу. Для цього рівняння (3.10) слід диференціювати та увести другий змінний коректувальний фактор $B(t) = at$ (a – коефіцієнт, що характеризує швидкість розповсюдження силового імпульсу), який і буде визначати інерційність процесу:

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = K \exp(-Kt) B(t) = K \exp(-Kt) at. \quad (3.11)$$

Якщо прийняти $K = l^{-1}$, де $l > 0$ – коефіцієнт, то рівняння (3.11) набуде наступного вигляду:

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{at}{l \exp\left(-\frac{t}{l}\right)}. \quad (3.12)$$

Рішення рівняння (3.12):

$$d\varepsilon = \frac{at}{l \exp\left(-\frac{t}{l}\right)} dt. \quad (3.13)$$

Звідси маємо:

$$\varepsilon = \frac{a}{l \int t \exp\left(-\frac{t}{l}\right) dt} + C = -a \exp\left(-\frac{t}{l}\right) (t + l) + C. \quad (3.14)$$

З урахуванням початкових умов ($t = 0$ і $\varepsilon = 0$): $C = al$.

Остаточний вигляд рівняння:

$$\varepsilon = al \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{l}\right) \left(1 + \frac{t}{l}\right) \right]. \quad (3.15)$$

Отримане рівняння описує асиметричну S-подібну криву, характер якої обумовлюється двома параметрами: a і l . Перший з них залежить від потужності робочого органу машини, маси і поверхні матеріалу, що знаходиться у промивальній ванні, а другий – в основному від фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу. Оцінку цих параметрів можна виконувати за допомогою методу трьох підсумків або методу трьох точок.

Для підтвердження тези, що кінетика диспергування глини під час промивки описується саме S-подібною кривою, можна застосувати динамічний аналіз.

На рис. 3.4 показана схема фізичної моделі процесу промивки у вигляді ємності, заповненої водою, на дністі якої розташований шар глини товщиною значно меншою у порівнянні з товщиною вище лежачого шару води [14].

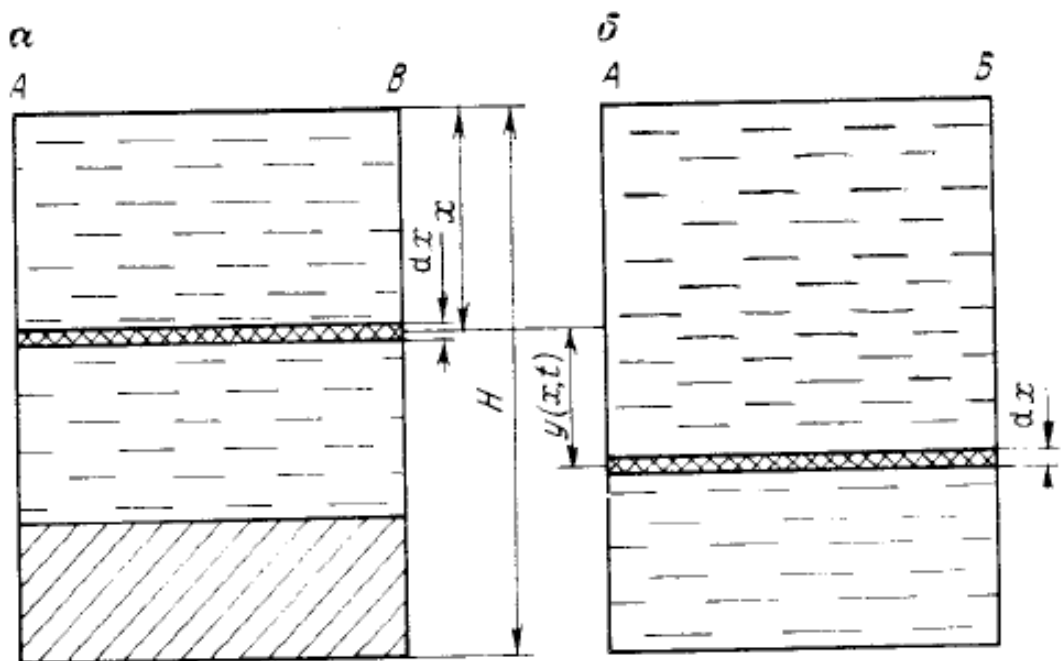


Рисунок 3.4 – Схема фізичної моделі процесу промивки при $t = 0$ (а) і $t = t_k$ (б)

Під впливом механічних та фізико-хімічних сил верхні шари глини починають руйнуватися, переходять у рідку фазу та утворюють суспензію. При цьому нижній рівень рідини переміщується донизу. Верхній її рівень AB залишається нерухомим, адже об'єми води і глини у процесі промивки не змінюються. З часом нижня межа рідини досягає днища ємності, а глина повністю диспергується, що відповідає статистично стійкому стану системи.

Таким чином, у процесі диспергування усі шари рідини, за винятком верхнього (межа AB), зміщуються відносно свого початкового положення. При цьому рідина у шарі частково заміщується глинистими частинками. В результаті висота стовпа суспензії зростає.

Для описання процесу диспергування глини виділимо у довільному об'ємі рідини в момент часу $t = 0$ елементарний шар dx , що знаходиться на відстані x від верхньої межі рідини (див. рис. 3.4а). Стан системи у той момент часу будемо вважати статистично нестійким. Внаслідок диспергування глини виділений шар dx опускається і в момент часу $t = t_k$, коли система досягає статистично стійкого стану, зміщується на відстань y (див. рис. 3.4б). Величина y залежить як від висоти розташування шару, так і від часу, тобто $y = f(x, t)$.

Результати експериментальних досліджень показують, що швидкість опускання шару dx змінна. Спочатку вона зростає від нуля до максимального значення, а потім у міру наближення до статистично стійкого стану поступово зменшується. Подібний рух елементарного шару – результат впливу не нього сил, що проявляються внаслідок руйнування шару глини. Основними з них є наступні [14]:

1. Сила інерції P , яка визначається як добуток маси шару глини, що руйнується, та прискорення. На елементарний шар глини dx діє при цьому сила:

$$dP = m \frac{\partial^2 y(x, t)}{\partial t^2} dx, \quad (3.16)$$

де $m dx$ – маса елементарного шару. У найбільшому ступені вплив сили P проявляється під час виведення системи із стану спокою;

2. Відновлювальна сила F , під дією якої відбувається заміщення водою зру-

йнованих шарів глини. Вона залежить від різниці опорів на верхніх і нижніх поверхнях елементарних шарів системи або від різниці опорів на верхній і нижній поверхнях шару глини у процесі її руйнування. Тому приріст відновлювальної сили при переході від нижньої межі шару до верхньої буде:

$$dF \cong \eta \frac{\partial^2 y(x,t)}{c x^2} dx. \quad (3.17)$$

У цьому рівнянні постійний коефіцієнт η пропорційний добутку питомого навантаження p від робочого органу на площі h елементарного шару глини, що руйнується:

$$\eta = a p h, \quad (3.18)$$

де a – коефіцієнт пропорційності;

3. Сила опору R опусканню елементарних шарів рідини, яка характеризується дисипацією енергії під час переміщення цих шарів і відповідає кількості руху матеріалу за одиницю часу. З огляду на те, що шари опускаються достатньо повільно, силу опору приймають пропорційною швидкості зміщення цих шарів. Тому на шар dx буде діяти сила:

$$dR = \zeta \frac{\partial y(x,t)}{\partial t} dx. \quad (3.19)$$

Сила опору у даному випадку визначається міцністю глини, а , точніше, межею її пружності на зсув. Тому:

$$\zeta = b r, \quad (3.20)$$

де b – коефіцієнт пропорційності.

Підсумок описаних сил, що діють на елементарний шар, за принципом Даламбера має дорівнювати нулю:

$$m \frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial t^2} dx + \zeta \frac{\partial y(x,t)}{\partial t} dx - \eta \frac{\partial^2 y(x,t)}{c x^2} dx = 0.$$

Якщо скоротити dx , то можна отримати рівняння переміщення шарів рідини:

$$m \frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial t^2} + \zeta \frac{\partial y(x,t)}{\partial t} - \eta \frac{\partial^2 y(x,t)}{c x^2} = 0. \quad (3.21)$$

Отримане рівняння, яке відноситься до диференціальних рівнянь другого порядку, описує у загальному вигляді рух центру ваги будь-якого шару рідини. Воно представляє рівняння в окремих похідних гіперболічного типу. Рівняння (3.21) можна записати у наступному вигляді:

$$\frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial t^2} + 2\rho \frac{\partial y(x,t)}{\partial t} - q^2 \frac{\partial^2 y(x,t)}{c x^2} = 0, \quad (3.22)$$

де $2\rho = \frac{\zeta}{m}$ і $q^2 = \frac{\eta}{m}$.

Вираз (3.22), відомий під назвою телеграфного рівняння, широко використовується для опису різноманітних процесів. Для його рішення застосовують метод Фур'є з розкладанням у тригонометричний ряд:

$$y(x, t) = \sum_{k=1}^{\infty} T(t) \varphi(x) k. \quad (3.23)$$

Шляхом перетворення цього рівняння можна розрахувати величини концентрації глинистих частинок у кожному шарі рідкої фази та вилучення глини у ці шари. Це дасть можливість отримати сімейство кривих, кожна з яких визначає величину підсумкового вилучення глини ε у стовп рідини відповідної висоти (рис. 3.5) [14].

Кожна крива представляє собою функцію часу і показує, що процес диспергування найскоріше протікає на його початку. З огляду на те, що ефективність процесу промивки характеризується насамперед загальним вилученням глини у злив, остаточна редакція рівняння буде виглядати як функція часу. Але промивка буде також визначатися навантаженням ph , що забезпечує диспергування глини, межею пружності глини на зсув r та масою m шару, що знімається з поверхні глини за одиницю часу. Відповідність аналітичних висновків результатам експериментальних досліджень свідчить про адекватність розробленої фізичної моделі та застосованого для її опису диференціального рівняння реальним умовам експлуатації вібраційної промивальної машини.

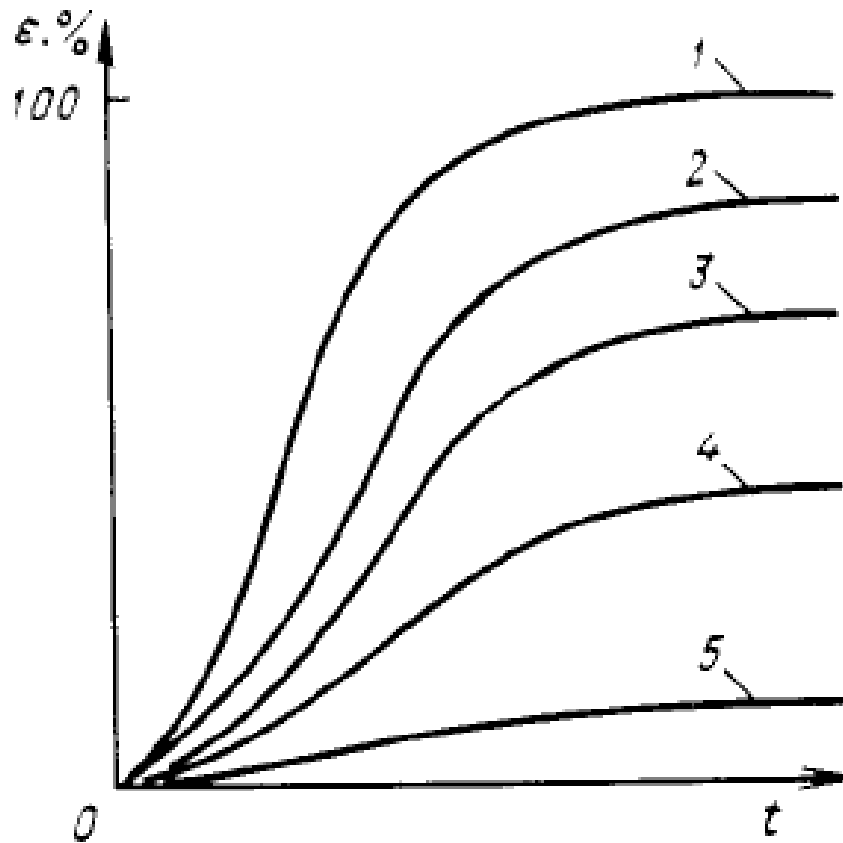


Рисунок 3.5 – Залежність підсумкового вилучення глини ε від часу промивки t при висоті стовпа суспензії H , $2/3H$, $1/2H$, $1/3H$ і $1/10H$ (відповідно криві 1-5)

3.3 Оцінка промивальної здатності мінеральної сировини

Промивність матеріалу, тобто здатність його більш-менш легко звільнятися від глинистих домішок під час промивки є об'єктивним показником, що залежить від чисельних взаємно пов'язаних факторів.

Основним з них слід вважати здатність глинистих включень розмиватися, тобто диспергуватися з більшою чи меншою швидкістю. Цю характеристику можна розглядати як реакцію глинистих домішок на вплив проточної води та механічні впливи на матеріал у процесі промивки. Ступінь промивності глинистих включень, у свою чергу, залежить від значного числа факторів, що визначають інтенсивність взаємодії глини з водою. Це: консистенція глинистих включень, ступінь дисперсності глинистих частинок, мінералогічний склад та число пластичності глинистих домішок.

Здатність матеріалу до промивки залежить також від фізико-механічних властивостей самого матеріалу, а саме: вмісту і крупності глинистих включень у матеріалі, максимального розміру шматків та гранулометричного складу оброблюваного матеріалу, стану поверхонь зерен тощо.

Ступені впливу кожного з перерахованих факторів на промивність матеріалу досі вивчені недостатньо, тому у сучасній практиці прийнято використовувати методи непрямой оцінки здатності до промивання за відомостями про окремі властивості матеріалу, що промивається, або його глинистих домішок. Проте, слід зауважити, що вони в більшості випадків виявляються дуже наближеними і часто призводять до серйозних похибок при проектуванні технології промивки.

У зв'язку з цим, в інституті ВНДІнеруд свого часу була розроблена методика безпосередньої оцінки промивності матеріалу за результатами дослідної промивки проби матеріалу у спеціальному апараті для випробування щебеню і гравію на промивність [13].

При цьому визначаються максимальна інтенсивність процесу промивки $J_{0\max}$ та характерний час промивки τ_0 при заданих технологічних параметрах випробувань. Залежність коефіцієнту промивності K від максимальної безрозмірної інтенсивності процесу $\tau_0 J_{0\max}$ представлена на рис. 3.6. Вона отримана в результаті рішення рівняння (3.4) при $t/\tau = 1$. З достатньою для практичних цілей точністю величину коефіцієнту промивності K можна визначити за наступною формулою [13]:

$$K = 0,5\tau_0 J_{0\max} + 6(\tau_0 J_{0\max})^2. \quad (3.24)$$

Розвідка родовищ корисних копалин далеко не завжди супроводжується отриманням проб матеріалів, необхідних для дослідної промивки з метою безпосередньої оцінки їх промивності. Частіше за все проводиться непряма оцінка здатності до промивки за фізично-механічними показниками гірничої маси та легкості процесу розмивання глин, що її засмічують. При цьому коефіцієнт промивності матеріалу K наближено приймається рівним коефіцієнту розмивності K_R глинистих домішок, що визначається за допомогою спеціальної методики. Характерний час промивки τ_0 знаходиться у такому випадку шляхом співставлення з випробу-

ваними раніше на противність матеріалами та вибору аналогу з однаковими показниками здатності до розмивання глинистих включень та близькими фізико-механічними властивостями (гранулометричним складом, вмістом глини тощо).

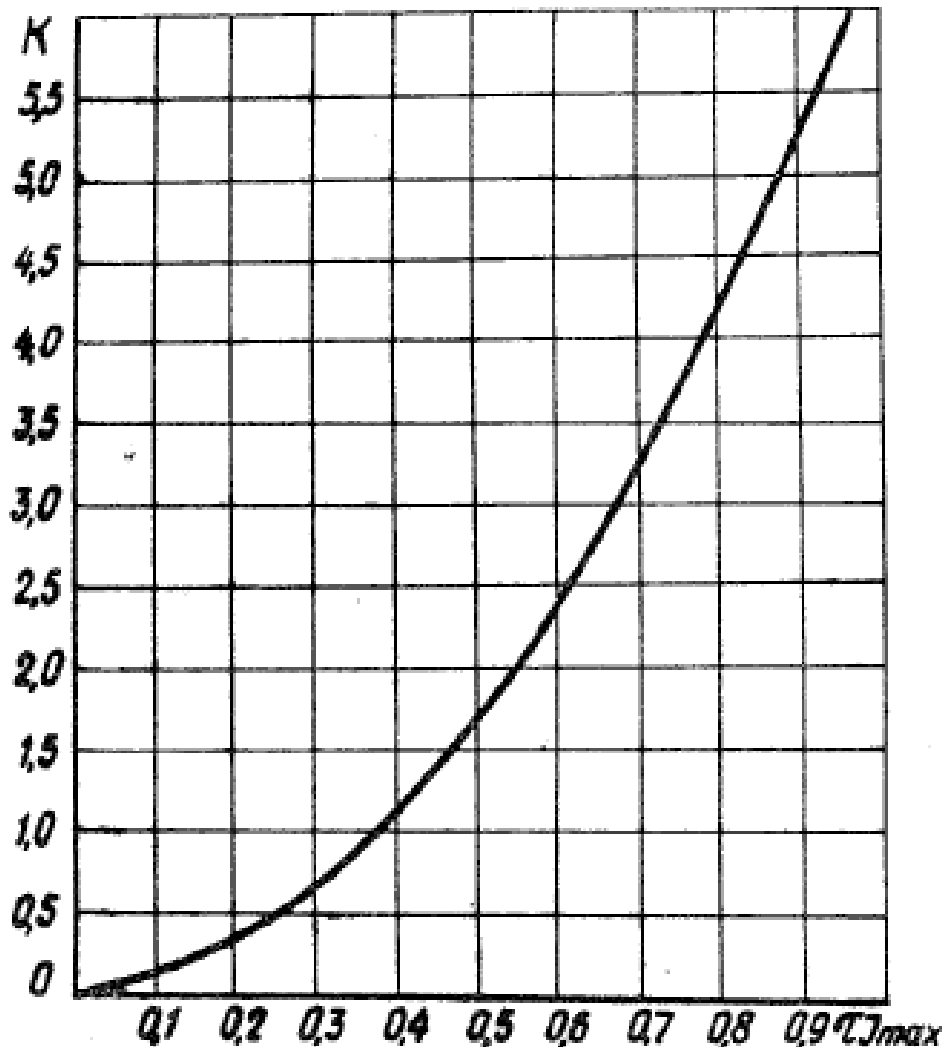


Рисунок 3.6 – Залежність коефіцієнту промивності K від максимальної безрозмірної інтенсивності процесу $\tau_0 J_{0max}$

Внаслідок складної природи явища промивності та розмаїття факторів, що впливають на нього, така непряма оцінка має набагато меншу достовірність, ніж отримана під час безпосередньої оцінки. Проте, враховуючи специфіку геолого-розвідувальних робіт на родовищах корисних копалин, слід відзначити, що у багатьох випадках у сучасних умовах непряма оцінка промивності може виявитися більш раціональною.

Висновки:

- для дослідження процесу промивки мінеральної сировини дуже важливе значення має вивчення особливостей його кінетики, передусім часу, необхідного для диспергування глини (тобто швидкості процесу диспергування), а також характеру її переходу з крупнозернистого стану у тонкодисперсний;

- кінетика процесу промивки визначається здебільшого двома параметрами: характерним часом промивки, необхідним для досягнення максимальної інтенсивності процесу, та коефіцієнтом, що характеризує промивність матеріалу (тобто його здатність до промивки). В роботі проведено аналіз експериментальних досліджень процесу промивки мінеральної сировини у машинах вібраційного типу;

- для аналізу результатів експериментальних досліджень кінетики процесу промивки використана математична модель, складена на основі його попередньо розробленої із застосуванням певних допущень фізичної моделі. Вона показала, що перехід диспергованої глини у рідкий стан описується експоненційною залежністю з урахуванням інерційності процесу, характерної для вібраційних мийок;

- в роботі також виконана оцінка промивності мінеральної сировини або, іншими словами, здатності глинистих включень, що її засмічують, розмиватися, тобто диспергуватися з більшою чи меншою швидкістю. Дослідження показали, що вона залежить від значного числа факторів, що визначають інтенсивність взаємодії глини з водою, наприклад: консистенції глинистих включень, ступеню дисперсності глинистих частинок, мінералогічного складу та числа пластичності глинистих домішок тощо.

4 ОБГРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОМИВАЛЬНИХ МАШИН ВІБРАЦІЙНОГО ТИПУ

4.1 Основні закономірності процесу промивки у вібраційних промивальних машинах

Експериментальні дослідження, виконані в інституті ВНДІнеруд, показали, що на інтенсивність процесу промивки у вібраційних машинах суттєво впливають наступні основні фактори:

- кутова частота коливань робочого органу (барабану, ванни, жолобу) вібростійки ω , с^{-1} ;
- вертикальна амплітуда коливань робочого органу вібростійки a_y , м;
- горизонтальна амплітуда коливань робочого органу вібростійки a_x , м;
- ступінь заповнення робочого органу вібростійки матеріалом φ ;
- радіус робочого органу вібростійки R , м;
- середньозважений розмір шматків матеріалу, що промивається у вібростійці, $B_{\text{сз}}$, м.

В якості критерію інтенсивності процесу промивки зручніше за все прийняти характерний час промивки τ . Його залежність від перерахованих вище факторів, знайдена у результаті статистичної обробки експериментальних даних з використанням методів теорії подібності та розмірності й буде наступною:

$$\tau = 793 \cdot 10^{-4} \frac{\omega_0}{\omega} \tau_0 D^{-0,49} a_x^{-0,58} R^{-2,03} [(\varphi - 0,7)^2 + 0,3] \cdot \left[\left(\frac{a}{a_x} - 1,41 \right)^2 + 0,9 \right] \left[\left(\frac{B_{\text{сз}}}{R} - 0,25 \right)^2 + 0,08 \right], \quad (4.1)$$

де τ_0 – характерний час промивки проби матеріалу під час випробувань на промивність; ω_0 – частота коливань робочого органу вібраційного пристрою для випробувань на промивність, с^{-1} ; D – коефіцієнт динаміки вібростійки, що визначається як відношення амплітудного значення прискорення коливань установки до прискорення сили тяжіння:

$$D = \frac{a\omega^2}{g};$$

a – результуюча амплітуда коливань вібротришки:

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2}.$$

При оптимальних значеннях конструктивних параметрів вібраційної промивальної машини ($\varphi = 0,7$; $a/a_x = 1,41$; $B_{сз}/R = 0,25$) вираз (4.1) прийме наступний вигляд:

$$\tau = \frac{6,6 \cdot 10^{-4} \omega_0 \tau_0}{a_x \omega^2 R^2}. \quad (4.2)$$

4.2 Вибір основних параметрів вібраційних машин для промивки крупнозернистих матеріалів

Розрахунок промивальних машин у загальному розумінні цього слова полягає у визначенні таких технологічних параметрів конструкцій, при яких забезпечується найбільші значення ефективності процесу та продуктивності машин.

Як відомо, продуктивність грохоту за живленням Q визначається як добуток корисної площі та питомої продуктивності його сита:

$$Q = FqK, \text{ т/г}, \quad (4.3)$$

де F – корисна площа сита, м^2 ; q – питома продуктивність сита, $\text{т}/(\text{м}^2 \cdot \text{г})$; K – коефіцієнт, який є добутком коефіцієнтів ($K_1, K_2, \dots, K_n$), що враховують як фізико-механічні властивості матеріалу, так і режими роботи машини. Питому продуктивність та вказані коефіцієнти визначають з урахуванням експериментальних даних. Під час зрошення матеріалу водою процес грохочення прискорюється, що також враховується певним поправочним коефіцієнтом.

З огляду на те, що під час відмивання шламів ширина щілин сита у багато разів перевищує розмір частинок, продуктивність вібраційного промивального

грохоту можна розраховувати за аналогією з розрахунком звичайної транспортної машини:

$$Q = 3600BhV\rho K, \quad (4.4)$$

де B – ширина сита грохота, м; h – висота шару матеріалу, що промивається, на ситі, м; V – середня швидкість просування матеріалу по ситі, м/с; ρ – насипна густина матеріалу, т/м³; K – коефіцієнт, що враховує вид просіювальної поверхні.

Ефективність вібраційної промивки залежить від частоти і амплітуди коливань, які визначають прискорення коливної системи. Наприклад, в умовах прискорень, що значно перевищують прискорення вільного падіння, забезпечується циркуляція матеріалу, яка сприятиме процесу його промивки. У вібраційних машинах, призначених для тривалого безперервного режиму роботи, прискорення руху робочих органів зазвичай приймають не більше 80 м/с² [14]. Більші прискорення хоч і забезпечують високу ефективність роботи, але супроводжуються надмірними динамічними навантаженнями на конструктивні елементи машини і швидким розвитком втомних явищ, що різко зменшує надійність та довговічність вібраційних установок.

Для забезпечення відносного руху матеріалу у нижній точці промивальної ванни вібраційної мийки, розробленої за схемами, що показані на рис. 1.6, потрібно дотримуватися наступної умови:

$$a\omega^2 = g, \quad (4.5)$$

де a – амплітуда коливань, м; ω – кутова швидкість валу вібробудника, с⁻¹; g – прискорення вільного падіння, м/с².

Величину амплітуди гармонійних коливань можна визначити за такою формулою [14]:

$$a = \frac{10M_{\text{д}}\omega^2 \cos\gamma}{(mg+m_0g)(\rho^2-\omega^2)}, \text{ см}, \quad (4.6)$$

де $M_{\text{д}}$ – статичний дебалансний момент вібробудника, Н·см; ω – кутова швидкість вібробудника, с⁻¹; m_0 і m – маси відповідно вібробудника та рухомої частини машини з матеріалом, кг; γ – кут зсуву фаз між векторами змушеного зусилля коливної системи і сили тяжіння, град.; ρ – кутова швидкість, що відповідає ча-

стоті власних коливань системи, с^{-1} :

$$\rho^2 = \frac{k}{m+m_0}, \quad (4,7)$$

де k – жорсткість пружних елементів вібромашини, кг/с^2 .

Кут зсуву фаз, що визначає відставання руху промивальних ванн від руху дебалансу (дебалансів), характеризує дисипацію енергії в основному за рахунок тертя зерен матеріалу між собою та відносно стінок ванн. Його можна визначити експериментально за витратами потужності приводу. За допомогою формули (4.6) було знайдено, що $\gamma = 6-7^\circ$ [14].

Крім того, було з'ясовано, що при коефіцієнту заповнення промивальних ванн до 0,5 опір коливної системи зменшує амплітуду коливань по відношенню до її значення без завантаження усього на 1-2%. З огляду на це, амплітуду коливань можна розраховувати за наступною спрощеною формулою:

$$a = \frac{10\omega^2}{(mg+m_0g)(\rho^2-\omega^2)}. \quad (4.8)$$

Під час досліджень встановлено, що із збільшенням амплітуди коливань зростає як ефективність промивки, так і швидкість руху матеріалу, а із збільшенням частоти – швидкість руху матеріалу та ефективність промивки спочатку зростають до певного максимуму, а потім зменшуються. Кращі показники були досягнуті при частоті 14,2 Гц (рис. 4.1). Таким чином, визначальним фактором процесу промивки є амплітуда коливань [14].

Під впливом вібрації шматки матеріалу отримують силові імпульси від стінок ванни, які забезпечують їх циркуляцію. Внаслідок цього матеріал набуває властивості «плинності», яка обумовлює його поздовжнє переміщення по ванні. Зниження ефективності процесу диспергування глини при частоті коливань, що перевищує її оптимальне значення, можна пояснити відривом частинок матеріалу від загальної коливної маси. Вони починають проковзувати відносно віброуючих стінок ванни, рухомість матеріалу зменшується, він ущільнюється у середній зоні, що й викликає зниження інтенсивності процесу диспергування глини та зменшення продуктивності установки.

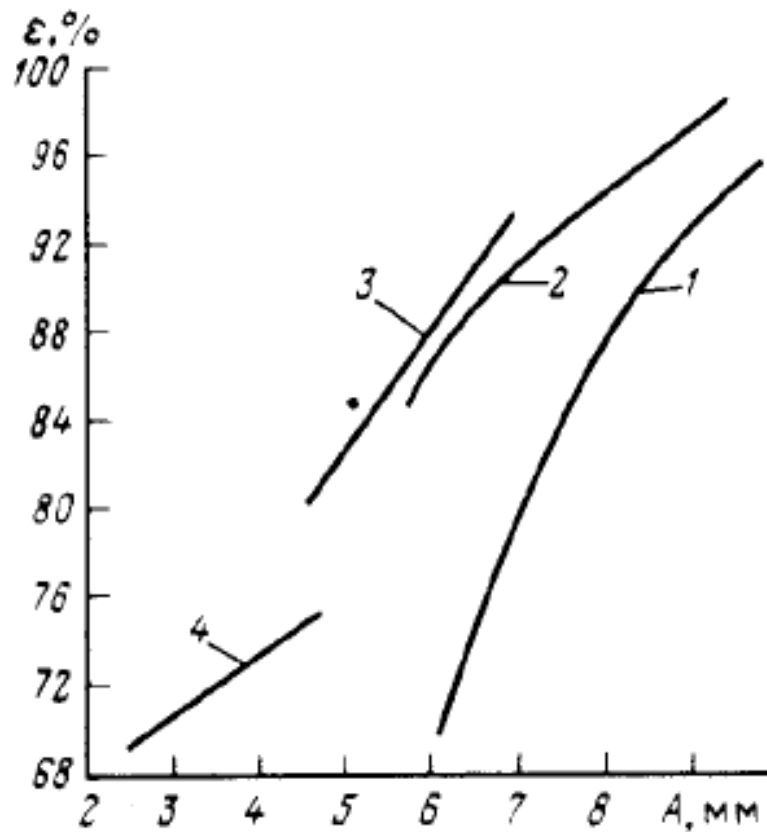


Рисунок 4.1 – Залежність вилучення глини ε від амплітуди коливань A з частотою 10; 14,2; 17,1 та 21,3 Гц (відповідно криві 1-4)

Значний вплив на ефективність процесу промивки має ступінь заповнення промивальної ванни матеріалом, який залежить від висоти підпільного порогу (або діафрагми) і подачі матеріалу у ванну. Чим вище поріг, тим більше тривалість перебування матеріалу у ванні та товщина його шару, а, значить, й ефективність диспергування. Із збільшення подачі матеріалу, незважаючи на зростання сил тертя між шматками матеріалу внаслідок потовщення його шару, тривалість промивки скорочується, а якість диспергування падає. Таким чином, потрібно відшукувати оптимальну величину продуктивності, при якій ефективність промивки максимальна. За даними різних дослідників, доцільний ступінь заповнення ванни матеріалом, при якому спостерігається максимальна ефективність його промивки, знаходиться у межах від 50 до 70% [14].

На рис. 4.2 показана схема сил, що діють на частинку матеріалу, що рухається під впливом вібрації у промивальній ванні з півкруглим перетином днища

[14]. Для аналізу цього руху тут використовуються дві системи координат: рухома O_1xu , пов'язана з ванною, та нерухома $O\zeta\eta$. В усталеному режимі ванна 1 здійснює коливання за круговими траєкторіями 2.

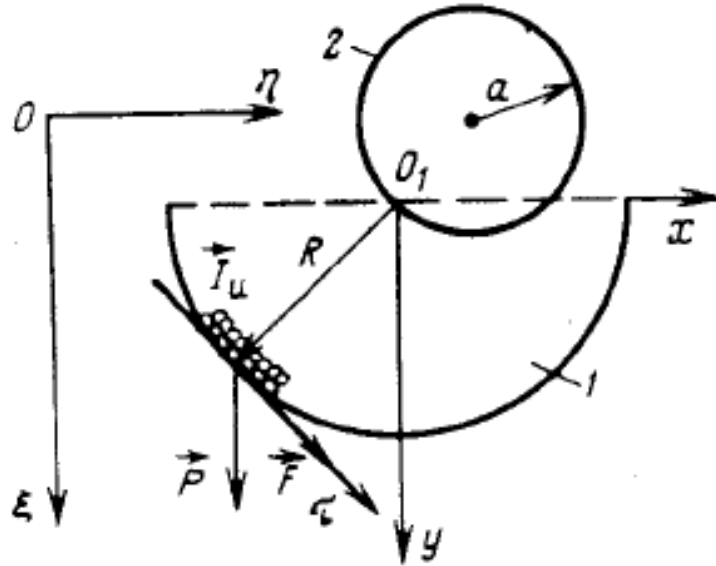


Рисунок 4.2 – Схема дії сил на частинку матеріалу у промивальній ванні

Проекції зміщень довільної точки ванни на нерухому систему координат:

$$\zeta = a \sin \omega t; \quad \eta = a \cos \omega t, \quad (4.9)$$

де a – амплітуда коливань ванни; ω – частота коливань ванни; t – час.

Проекції сил інерції зерна на рухомі осі будуть дорівнювати $(-m\ddot{\zeta}_0)$ і $(-m\ddot{\eta}_0)$, де m – маса зерна.

Тоді рівняння руху частинки відносно рухомої системи координат приймуть наступний вигляд:

$$m\ddot{x} = \sum_i x_i + ma\omega^2 \sin \omega t; \quad m\ddot{y} = \sum_i y_i + ma\omega^2 \cos \omega t + mg, \quad (4.10)$$

де $\sum_i x_i$ і $\sum_i y_i$ – проекції сил реакції, що діють з боку інших зерен та стінки жолобу.

Рівняння рівноваги зерна у відносних координатах матиме наступний вигляд:

$$\vec{N} + \vec{F} + \vec{P} + \vec{J} = 0, \quad (4.11)$$

де $\vec{N}$ – сила реакції; $\vec{F}$ – сила тертя; $\vec{P}$ – вага зерна; $\vec{J}$ – сила інерції зерна.

При відриві зерна результуючий вектор сил $\vec{F}$, $\vec{P}$, $\vec{J}$ має бути перпендикулярним відносно вектора $\vec{N}$. Після відриву зерна $\vec{N} = 0$ і $\vec{F} = 0$. Рівняння, що описує політ зерна, можна отримати з формули (4.10). Проекції швидкості V і координати зерна при польоті будуть дорівнювати:

$$\begin{aligned} V_x &= a\omega(\cos\omega t_0 - \cos\omega t); \\ V_y &= a\omega(\sin\omega t_0 - \sin\omega t) - gt_0 + gt; \\ x &= a\omega(t - t_0)\cos\omega t_0 + a(\sin\omega t_0 - \sin\omega t); \\ y &= a\omega(t_0 - t)\sin\omega t + a(\cos\omega t_0 - \cos\omega t) + 0,5g(t_0^2 - t^2) - gt_0t, \end{aligned} \quad (4.12)$$

де t_0 – момент відриву зерна.

Аналіз параметричних рівнянь траєкторії польоту зерна показує, що на параболічний рух частинки у нерухомій системі координат накладається круговий рух рухомої системи.

Потужність систем з круговими коливаннями може бути визначена за допомогою наступної формули:

$$N = \frac{M_D^2 \omega^5 \sin 2\gamma}{2 \cdot 100g(m + m_0)(\rho^2 - \omega^2)}, \quad (4.13)$$

де M_D – дебалансний момент віброзбудника, Н·м; ω – кутова швидкість обертання валу віброзбудника, с⁻¹; γ – кут зсуву фаз між вектором сили віброзбудника і вектором сили коливної маси системи, град.; g – прискорення вільного падіння, м/с²; m і m_0 – маси відповідно рухомої частини машини з матеріалом та віброзбудника, кг; ρ – кутова швидкість, що відповідає частоті власних коливань системи, с⁻¹.

Під час розгляду питання щодо витрати енергії необхідно враховувати наступну особливість роботи вібраційних промивальних машин. У процесі промивки при поперечних кругових коливаннях центр ваги матеріалу зміщується до одного з боків ванни, що обумовлює змінення кругової траєкторії коливань ванни на

еліптичну та збільшення витрати енергії.

Одним з основних актуальних питань експлуатації вібраційних промивальних машин є вплив витрати води на інтенсивність процесу промивки. Більшість вібротрийок має ванну (ванни) з перфорованим днищем. У разі ж суцільного днища ванни вона накопичує певний об'єм води, який зменшує тертя між зернами і знижує таким чином ефективність процесу промивки. Проте, практичний досвід використання вібротрийок показує, що у перфорованих ваннах можна промивати лише середньопромивні матеріали. В мінеральній сировині, що містить жирні і в'язкі важкопромивні глини, внаслідок недостатності дисперсійного середовища шматки глини, які зустрічаються один з іншим, скочуються у крупні конгломерати і засмічують митий продукт. Для боротьби з цим явищем рекомендується зменшувати кут нахилу промивальної ванни і збільшувати за рахунок цього час перебування матеріалу у водяному середовищі.

Таким чином, від певних недоліків не вільні як вібротрийки з перфорованими ваннами, так і конструкції з неперфорованими жолобами. Для усунення негативних сторін останніх на їх внутрішніх стінках встановлюють поздовжні ребра, які сприяють інтенсифікації процесу перемішування матеріалу під час промивки.

Оптимальна витрата води, необхідна для промивки та ополіскування матеріалу, у вібраційних промивальних машинах складає приблизно 1,4-1,5 м³/т.

На відміну від промивальних машин, в яких матеріал переміщується за рахунок робочих органів, у вібротрийках пересування матеріалу уздовж ванни обумовлено різницею його рівнів з боку завантаження та розвантаження. Під дією вібрацій матеріал стає плинним і рухається уздовж ванни, причому чим інтенсивніше вібрації, тим більше ступінь плинності матеріалу.

Як говорилося вище, у діапазоні оптимальних частот визначальним фактором інтенсифікації процесу промивки (інтенсивності перемішування матеріалу та ефективності внаслідок цього процесу його диспергування) є амплітуда коливань. З урахуванням небезпеки розвитку втомних явищ при некерованому зростанні інтенсивності вібраційних коливань, для частот у межах 12-16 Гц оптимальні значення амплітуди коливань знаходяться у межах 5-8 мм.

Значний вплив на продуктивність промивальних агрегатів має кут нахилу їх ванн. Встановлено, що при збільшенні кута нахилу ванни до 3° швидкість поздовжнього переміщення матеріалу зростає незначно. При подальшому збільшенні кута нахилу швидкість різко зростає, а ефективність процесу промивки при цьому знижується.

Із зменшенням крупності матеріалу, тобто при збільшенні його питомої поверхні, продуктивність процесу промивки падає, що обумовлено зниженням рухомості матеріалу через розвиток його поверхні.

У загальному випадку продуктивність вібраційних промивальних машин без урахування фізико-механічних властивостей матеріалу може бути знайдена за допомогою наступної багатофакторної функції:

$$Q = f(D, h, S), \quad (4.14)$$

де D – діаметр промивальної ванни; h – висота підпільного порогу; S – питома поверхня матеріалу.

Для розрахунку продуктивності вібромийки з кутом нахилу ванн 3° , висотою порогу 125 мм при крупності важкопромивного матеріалу до 70 мм і коефіцієнту заповнення ванн 0,5 можна використовувати таку емпіричну формулу:

$$Q = zan(0,39D^2 - 0,04\sqrt{D}), \quad (4.15)$$

де z – число паралельно встановлених промивальних ванн; a – амплітуда коливань, м; n – частота обертання валу віброзбудника, хв.^{-1} ; D – діаметр промивальної ванни, м.

Залишається додати про важливість правильного проектування перехідних режимів роботи вібраційних мийок, особливо тих, що постачені віброзбудниками інерційного типу, які працюють зазвичай у глибоко зарезонансному режимі роботи. У періоди пуску та зупинки машини її коливна система змушена проходити через область резонансу. При цьому амплітуда коливань зростає і може у десятки разів перевищувати амплітуду коливань у робочому режимі, що неодмінно приз-

веде до поломки машини. Перехідні режими роботи відрізняються надзвичайною складністю і не мають суворого і закінченого наукового опису.

З певними припущеннями величину резонансних амплітуд під час пуску системи можна розрахувати за допомогою наступної формули [14]:

$$a_p = \sqrt{\frac{2(J+r^2m)}{M+m}}, \quad (4,16)$$

де J – момент інерції усіх обертових частин; r – відстань від осі віброзбудника до його центру ваги; m – маса віброзбудника; M – маса ванни з матеріалом.

Значення крутного моменту на валу машину у стадії перехідного режиму інженерному розрахунку взагалі не піддається. Але його потрібно знати для визначення міцності та надійності роботи вібромийки. Тому величина крутного моменту на валу машини визначається експериментальним шляхом за допомогою тензOMETричного методу дослідження, а значення резонансних амплітуд – шляхом використання методу замірів із застосуванням індуктивного датчика. Результати виконаних досліджень приведені у табл. 4.1 [14]. Отримані дані свідчать, що для приблизних розрахунків вібромийок можна використовувати формулу (4.16).

4.3 Розрахунок процесу промивки матеріалів у вібромийках

4.3.1 Обґрунтування вихідних даних для розрахунку

та конструктивних параметрів вібраційної промивальної машини

Для здійснення розрахунку процесу промивки у вібраційних промивальних машинах потрібно задатися певними вихідними даними.

I. Вимоги до початкових властивостей матеріалу, що піддається промивці:

- вміст глинистих домішок у вихідному (забрудненому) матеріалі α_1 , %;
- середньозважений розмір шматків оброблюваного матеріалу $B_{сз}$, м;
- промивність матеріалу:
 - характерний час промивки матеріалу під час випробувань на промивність τ_0 , с;

- максимальна інтенсивність промивки під час випробувань на промивність J_{0max} , c^{-1} ;
- кутова частота коливань вібропристрою для випробувань на промивність ω_0 , c^{-1} .

II. Вимоги до конструктивних параметрів вібраційної промивальної машини:

- кутова частота коливань робочого органу вібромийки ω , c^{-1} ;
- амплітуда коливань вібромийки (горизонтальна a_x і вертикальна a_y), м;
- радіус робочого органу вібромийки (барабану, ванни, жолобу) R , м;
- довжина робочого органу вібромийки L , м; кількість робочих органів вібромийки, m ;
- коефіцієнт заповнення робочих органів вібромийки оброблюваним матеріалом φ .

III. Вимоги до властивостей готового (митого) продукту:

- вміст глинистих домішок α_2 , %.

IV. Вимоги до продуктивності процесу промивки:

- продуктивність вібромийки Q , m^3/h .

4.3.2 Порядок розрахунку продуктивності вібромийки

виходячи з допустимого вмісту глинистих домішок у промитому матеріалі

1. Визначення величини необхідного вилучення глинистих домішок у злив протягом усього часу промивки:

$$\varepsilon = \frac{100(\alpha_1 - \alpha_2)}{(100 - \alpha_2)\alpha_1}.$$

2. Визначення за допомогою формули (3.24) або графіка на рис. 3.6 коефіцієнту промивності K :

$$K = 0,5\tau_0 J_{0max} + 6(\tau_0 J_{0max})^2.$$

3. Визначення за допомогою формули (4.1) характерного часу промивки τ (виходячи із ступеня промивності матеріалу та конструктивних параметрів вібромийки).

4. Визначення за допомогою графіку на рис. 3.3 часу промивки t/τ (у частках характерного часу промивки τ) (виходячи з величини необхідного вилучення глинистих включень у злив ε при певному значенні коефіцієнту промивності матеріалу K – див. п.2).

5. Визначення необхідного часу промивки t , с:

$$t = \tau \left(\frac{t}{\tau} \right).$$

6. Визначення продуктивності вібростійки Q виходячи з необхідного часу промивки:

$$Q = 3600 m \pi R^2 \varphi \frac{L}{t}, \text{ м}^3/\text{г}, \quad (4.3)$$

де m – кількість робочих органів вібростійки; R – радіус робочого органу вібростійки, м; φ – коефіцієнт заповнення робочого органу вібростійки оброблюваним матеріалом; L – довжина робочого органу вібростійки, м; t – необхідний час промивки, с.

Виконаємо приклад розрахунку. Визначимо продуктивність вібростійки для вихідних даних, приведених у табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Вихідні дані для розрахунку продуктивності вібростійки виходячи з допустимого вмісту глинистих домішок у промитому матеріалі

Вимоги I	Вимоги II	Вимоги III
$\alpha_1 = 10\%$ $B_{сз} = 0,075 \text{ м}$ $\tau_0 = 120 \text{ с}$ $J_{0\max} = 0,0025 \text{ с}^{-1}$ $\omega_0 = 100 \text{ с}^{-1}$	$\omega = 153 \text{ с}^{-1}$ $a_x = 0,0035 \text{ м}$ $a_y = 0,0025 \text{ м}$ $R = 0,35 \text{ м}$ $L = 2,5 \text{ м}$ $m = 2$ $\varphi = 0,6$	$\alpha_2 = 0,5\%$

Розрахунок

1.
$$\varepsilon = \frac{100(10-0,5)}{(100-0,5)10} = 0,955.$$

$$2. \quad K = 0,5 \cdot 120 \cdot 0,0025 + 6(120 \cdot 0,0025)^2 = 0,69.$$

$$3. \quad a = \sqrt{0,0035^2 + 0,0025^2} = 0,0043 \text{ м.}$$

$$D = \frac{0,0043 \cdot 153^2}{9,81} = 10,3.$$

$$\tau = 793 \cdot 10^{-4} \frac{100}{153} \cdot 120 \cdot 10,3^{-0,49} \cdot 0,0035^{-0,58} \cdot 0,35^{-2,03} [(0,6 - 0,7)^2 + 0,3] \cdot \left[\left(\frac{0,0043}{0,0035} - 1,41 \right)^2 + 0,9 \right] \left[\left(\frac{0,075}{0,35} - 0,25 \right)^2 + 0,08 \right] = 10,4 \text{ с.}$$

4. Згідно з графіком на рис. 3.3 при $K = 0,7$ та $\varepsilon = 0,995$ маємо: $t/\tau = 6,4$.

$$5. \quad t = 10,4 \cdot 6,4 = 67 \text{ с.}$$

$$6. \quad Q = 3600 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,35^2 \cdot 0,6 \cdot \frac{2,5}{67} = 61,8 \text{ м}^3/\text{г.}$$

4.3.3 Порядок розрахунку вмісту глинистих домішок у промитому матеріалі виходячи із заданої продуктивності вібромийки

1. Визначення фактичного часу промивки:

$$t = \frac{3600 m \pi R^2 \varphi L}{Q}, \text{ с,}$$

де Q – задана продуктивність вібромийки, $\text{м}^3/\text{г}$.

2. Визначення коефіцієнту промивності K за графіком на рис. 3.6 або за формулою (3.24).

3. Визначення характерного часу промивки матеріалу τ при заданих конструктивних параметрах вібромийки за допомогою формули (4.1) (виходячи з характерного часу промивки τ_0 під час випробувань на промивність).

4. Визначення відношення t/τ фактичного часу промивки t до характерного часу промивки τ .

5. Визначення величини вилучення ε глинистих домішок у злив за допомогою графіку на рис. 3.3 для отриманого відношення t/τ при даному коефіцієнті промивності K .

6. Визначення вмісту глинистих домішок у промитому матеріалі за наступною формулою:

$$\alpha_2 = \frac{100\alpha_1(1-\varepsilon)}{100-\alpha_1\varepsilon}.$$

Виконаємо приклад розрахунку. Визначимо допустимий вміст глинистих домішок у промитому матеріалі для вихідних даних, приведених у табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Вихідні дані для розрахунку допустимого вмісту глинистих домішок у промитому матеріалі виходячи із заданої продуктивності вібростійки

Вимоги I	Вимоги II	Вимоги IV
$\alpha_1 = 10\%$ $B_{сз} = 0,075 \text{ м}$ $\tau_0 = 120 \text{ с}$ $J_{0\max} = 0,0025 \text{ с}^{-1}$ $\omega_0 = 100 \text{ с}^{-1}$	$\omega = 100 \text{ с}^{-1}$ $a_x = 0,006 \text{ м}$ $a_y = 0,004 \text{ м}$ $R = 0,25 \text{ м}$ $L = 3,2 \text{ м}$ $m = 2$ $\varphi = 0,85$	$Q = 40 \text{ м}^3/\text{г}$

Розрахунок

$$1. \quad t = \frac{3600 \cdot 2,3,14 \cdot 0,25^2 \cdot 0,85 \cdot 3,2}{40} = 96 \text{ с.}$$

$$2. \quad K = 0,5 \cdot 120 \cdot 0,0025 + 6(120 \cdot 0,0025)^2 = 0,69. \text{ Приймаємо } K = 0,7.$$

$$3. \quad a = \sqrt{0,006^2 + 0,004^2} = 0,0072 \text{ м.}$$

$$D = \frac{0,0072 \cdot 100^2}{9,81} = 7,34.$$

$$\tau = 793 \cdot 10^{-4} \frac{100}{100} \cdot 120 \cdot 7,34^{-0,49} \cdot 0,006^{-0,58} \cdot 0,25^{-2,03} [(0,85 - 0,7)^2 + 0,3] \cdot$$

$$\left[\left(\frac{0,0072}{0,006} - 1,41 \right)^2 + 0,9 \right] \left[\left(\frac{0,075}{0,25} - 0,25 \right)^2 + 0,08 \right] = 29,1 \text{ с.}$$

$$4. \quad \frac{t}{\tau} = \frac{96}{29,1} = 3,3.$$

5. Згідно з графіком на рис. 3.3 при $K = 0,7$ та $t/\tau = 3,3$ маємо: $\varepsilon = 0,74$.

6.
$$\alpha_2 = \frac{100 \cdot 10(1-0,74)}{100-10 \cdot 0,74} = 2,8\%.$$

Висновки:

- експериментальні дослідження показують, що на інтенсивність процесу промивки у вібраційних машинах суттєво впливають кутова частота та амплітуда коливань робочого органу, його радіус та ступінь заповнення матеріалом, а також середньозважений розмір шматків останнього;

- розрахунок промивальних машин полягає у визначенні таких технологічних параметрів конструкцій, при яких забезпечується найбільші значення ефективності процесу та продуктивності машин. Ефективність вібраційної промивки залежить у першу чергу від частоти і амплітуди коливань, які визначають прискорення коливної системи. Значний вплив на ефективність процесу промивки мають ступінь заповнення промивальної ванни матеріалом, кут її нахилу та витрата промивальної води;

- в роботі запропоновано порядок розрахунку процесу промивки матеріалів у вібростійках у двох можливих варіантах: визначення продуктивності вібростійки виходячи з допустимого вмісту глинистих домішок у промитому матеріалі та розрахунку вмісту глинистих домішок у промитому матеріалі виходячи із заданої продуктивності вібростійки.

ВИСНОВКИ

Проведені під час виконання магістерської роботи дослідження забезпечили можливість сформулювати наступні висновки та практичні рекомендації:

- процес промивки мінеральної сировини водою включає операції дезінтеграції гірничої маси, зцементованої глиною, відокремлення та диспергування останньої, а також видалення утвореної глинистої суспензії;

- найбільш перспективним типом промивального обладнання на сьогоднішній день є вібраційне. Використання вібраційних технологій і техніки надзвичайно ефективно у гірничій та гірничозбагачувальній промисловості, зокрема для очищення рудних мас від глинистих включень;

- існують різні типи вібраційних мийок, розраховані на промивку матеріалів, що відрізняються важкістю здійснення цієї операції, а саме: легко-, середньо- та важкопромивних. Чим більше жирність та в'язкість глини, яка засмічує гірничу масу, тим більш енергійної обробки вимагає остання;

- проведений аналіз сучасних конструкцій вібротрийок показав, що для умов роботи з важкопромивними матеріалами таке обладнання вимагає подальших досліджень з метою створення більш ефективних конструкцій;

- для дослідження процесу промивки мінеральної сировини дуже важливе значення має вивчення особливостей його кінетики, передусім часу, необхідного для диспергування глини (тобто швидкості процесу диспергування), а також характеру її переходу з крупнозернистого стану у тонкодисперсний;

- кінетика процесу промивки визначається здебільшого двома параметрами: характерним часом промивки, необхідним для досягнення максимальної інтенсивності процесу, та коефіцієнтом, що характеризує промивність матеріалу (тобто його здатність до промивки). В роботі проведено аналіз експериментальних досліджень процесу промивки мінеральної сировини у машинах вібраційного типу;

- для аналізу результатів експериментальних досліджень кінетики процесу промивки використана математична модель, складена на основі його попередньо розробленої із застосуванням певних допущень фізичної моделі. Вона показала,

що перехід диспергованої глини у рідкий стан описується експоненційною залежністю з урахуванням інерційності процесу, характерної для вібраційних мийок;

- в роботі також виконана оцінка промивності мінеральної сировини або, іншими словами, здатності глинистих включень, що її засмічують, розмиватися, тобто диспергуватися з більшою чи меншою швидкістю. Дослідження показали, що вона залежить від значного числа факторів, що визначають інтенсивність взаємодії глини з водою, наприклад: консистенції глинистих включень, ступеню дисперсності глинистих частинок, мінералогічного складу та числа пластичності глинистих домішок тощо.

- експериментальні дослідження показують, що на інтенсивність процесу промивки у вібраційних машинах суттєво впливають кутова частота та амплітуда коливань робочого органу, його радіус та ступінь заповнення матеріалом, а також середньозважений розмір шматків останнього;

- розрахунок промивальних машин полягає у визначенні таких технологічних параметрів конструкцій, при яких забезпечується найбільші значення ефективності процесу та продуктивності машин. Ефективність вібраційної промивки залежить у першу чергу від частоти і амплітуди коливань, які визначають прискорення коливної системи. Значний вплив на ефективність процесу промивки мають ступінь заповнення промивальної ванни матеріалом, кут її нахилу та витрата промивальної води;

- в роботі запропоновано порядок розрахунку процесу промивки матеріалів у вібростійках у двох можливих варіантах: визначення продуктивності вібростійки виходячи з допустимого вмісту глинистих домішок у промитому матеріалі та розрахунку вмісту глинистих домішок у промитому матеріалі виходячи із заданої продуктивності вібростійки;

- використання вібраційного промивального обладнання забезпечує суттєве підвищення ефективності процесу промивки мінеральної сировини за рахунок інтенсивного впливу інерційних сил на оброблюваний матеріал.

Таблиця 3.1 – Результати розрахунку кінетичних параметрів процесу промивки за рівнянням (3.5) ($K = 0,1-1,4$)

Час промивки, t/τ	Значення коефіцієнту промивності K													
	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4
0,1	0,0059	0,0073	0,0082	0,0086	0,0088	0,0087	0,0082	0,0075	0,0067	0,0060	0,0053	0,0047	0,0036	0,0027
0,2	0,0127	0,0161	0,0185	0,0202	0,0213	0,0223	0,0224	0,0218	0,0209	0,0199	0,0187	0,0175	0,0152	0,0130
0,3	0,0197	0,0255	0,0298	0,0331	0,0355	0,0385	0,0399	0,0403	0,0400	0,0392	0,0382	0,0369	0,0341	0,0312
0,4	0,0268	0,0352	0,0417	0,0467	0,0507	0,0563	0,0600	0,0616	0,0625	0,0626	0,0623	0,0616	0,0594	0,0566
0,5	0,0341	0,0451	0,0539	0,0609	0,0666	0,0752	0,0810	0,0849	0,0875	0,0891	0,0899	0,0902	0,0897	0,0880
0,6	0,0415	0,0552	0,0663	0,0754	0,0831	0,0948	0,1034	0,1097	0,1143	0,1178	0,1202	0,1219	0,1238	0,1242
0,8	0,0563	0,0757	0,0917	0,1052	0,1168	0,1356	0,1503	0,1620	0,1714	0,1792	0,1857	0,1912	0,1998	0,2060
1,0	0,0713	0,0963	0,1173	0,1353	0,1510	0,1772	0,1984	0,2159	0,2307	0,2434	0,2545	0,2642	0,2807	0,2942
1,2	0,0862	0,1169	0,1429	0,1654	0,1853	0,2189	0,2465	0,2699	0,2900	0,3076	0,3233	0,3374	0,3618	0,3825
1,4	0,1010	0,1374	0,1683	0,1953	0,2192	0,2599	0,2939	0,3228	0,3480	0,3702	0,3901	0,4082	0,4398	0,4668
1,6	0,1158	0,1577	0,1935	0,2247	0,2525	0,3001	0,3399	0,3739	0,4315	0,4300	0,4536	0,4751	0,5126	0,5448
1,8	0,1305	0,1777	0,2182	0,2536	0,2851	0,3391	0,3842	0,4228	0,4565	0,4863	0,5130	0,5372	0,5793	0,6150
2,0	0,1450	0,1975	0,2425	0,2819	0,3168	0,3766	0,4266	0,4692	0,5062	0,5388	0,5679	0,5940	0,6392	0,6771
2,5	0,1807	0,2457	0,3011	0,3493	0,3918	0,4640	0,5233	0,5731	0,6156	0,6523	0,6844	0,7127	0,7600	0,7979
3,0	0,2153	0,2917	0,3562	0,4118	0,4603	0,5414	0,6065	0,6599	0,7043	0,7417	0,7736	0,8008	0,8446	0,8777
3,5	0,2487	0,3354	0,4077	0,4692	0,5222	0,6152	0,6768	0,7309	0,7746	0,8102	0,8396	0,8641	0,9015	0,9280
4,0	0,2810	0,3768	0,4556	0,5216	0,5778	0,6676	0,7356	0,7881	0,8292	0,8617	0,8876	0,9084	0,9387	0,9586
4,5	0,3120	0,4159	0,5000	0,5693	0,6273	0,7179	0,7842	0,8337	0,8712	0,8997	0,9218	0,9389	0,9625	0,9769
5,0	0,3418	0,4527	0,5410	0,6125	0,6713	0,7607	0,8241	0,8697	0,9030	0,9275	0,9458	0,9595	0,9775	0,9876

Продовження таблиці 3.1														
5,5	0,3705	0,4874	0,5787	0,6515	0,7102	0,7972	0,8566	0,8978	0,9270	0,9477	0,9625	0,9733	0,9868	0,9939
6,0	0,3979	0,5199	0,6135	0,6866	0,7445	0,8280	0,8829	0,9197	0,9448	0,9620	0,9741	0,9825	0,9926	0,9976
6,5	0,4242	0,5504	0,6454	0,7181	0,7746	0,8539	0,9042	0,9366	0,9580	0,9723	0,9819	0,9885	0,9963	
7,0	0,4494	0,5790	0,6746	0,7464	0,8010	0,8757	0,9212	0,9496	0,9677	0,9794	0,9872	0,9925	0,9985	
7,5	0,4735	0,6057	0,7013	0,7717	0,8242	0,8938	0,9348	0,9594	0,9747	0,9844	0,9907	0,9950		
8,0	0,4966	0,6308	0,7258	0,7943	0,8444	0,9089	0,9455	0,9668	0,9797	0,9877	0,9930	0,9966		
8,5	0,5187	0,6542	0,7481	0,8144	0,8619	0,9215	0,9539	0,9723	0,9832	0,9899	0,9944	0,9975		
9,0	0,5397	0,6760	0,7685	0,8324	0,8772	0,9318	0,9605	0,9763	0,9856	0,9913	0,9952	0,9981		
9,5	0,5599	0,6964	0,7871	0,8484	0,8905	0,9403	0,9659	0,9792	0,9871	0,9921	0,9956			
10,0	0,5791	0,7154	0,8040	0,8625	0,9019	0,9472	0,9694	0,9811	0,9880	0,9924	0,9958			
12,0	0,6476	0,7792	0,8574	0,9046	0,9337	0,9635		0,9835						
14,0	0,7042	0,8270	0,8933	0,9297	0,9501	0,9690								
16,0	0,7508	0,8623	0,9168	0,9439	0,9576									
18,0	0,7890	0,8882	0,9318	0,9511	0,9598									
20,0	0,8202	0,9069	0,9408											

Таблиця 3.2 – Результати розрахунку кінетичних параметрів процесу промивки за рівнянням (3.5) ($K = 1,6-10,0$)

Час промивки, t/τ	Значення коефіцієнту промивності K													
	1,6	1,8	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
0,1	0,0020	0,0015	0,0011	0,0006	0,0003	0,0001	0	0	0	0	0	0	0	0

[illegible]

Таблиця 4.1 – Параметри перехідних процесів у вібротрийках

Частота обертання валу вібро- збудника, Гц	Дебалансний момент, Н·м	Тривалість пускового періоду, с	Крутний момент, Н·м		Усталена амплітуда коливань, мм	Тривалість зупинки до встановлення резонансного режиму, с	Амплітуда при резонансних коливаннях, мм	
			пусковий	усталений			фактична	розрахункова
10,0	147150	2,4	655	80	6,05	23,6	35,0	52,5
	212550	2,4	695	122	8,60	23,6	44,0	59,0
	242200	3,4	720	146	9,75	21,2	55,0	62,0
14,2	147150	4,2	457	88	5,80	27,6	40,0	52,5
	212550	5,9	510	115	8,30	26,0	41,0	59,0
	242200	8,2	630	138	9,36	23,6	58,0	62,0
17,5	111600	5,0	470	705	4,40	28,0	34,0	47,5
	147150	5,5	470	1000	5,70	28,3	36,0	52,5
	177000	5,9	537	1250	6,85	26,5	38,0	58
21,4	81750	6,4	470	70	32,00	32,8	-	-
	111600	6,4	570	108	4,35	29,5	33,0	47,5