

Джиголя Іван Іванович

Магістерська робота

**Аналіз способів і засобів промивання та корисних копалин
та обґрунтування раціональних параметрів
промивного обладнання**

Керівник роботи

проф., д.т.н. Громадський А.С.

ВСТУП

Більша частина корисних копалин, що видобувається людством з надр землі, потребує збагачення, тобто звільнення від тих чи інших шкідливих або сторонніх домішок і підвищення таким чином вмісту цінного компонента (компонентів). Під шкідливими домішками розуміють такі, що знижують якість видобутої сировини з точки зору її подальшого використання (наприклад, сірку і фосфор у залізній руді, які негативно впливають на фізико-технічні властивості чавуну і сталі, що виробляються з цієї руди під час металургійного переділу). Сторонні домішки – це, в основному, порожні породи, яких може бути забагато (наприклад, у руді) для рентабельної металургійної переробки її у метали. Крім того, для підвищення ефективності збагачення руду потрібно знешламлювати, тобто звільняти від тонких мінеральних частинок, які заважають правильному протіканню збагачувальних операцій [1-3].

Для збагачення корисних копалин у загальному гірничо-металургійному виробничому комплексі існує відповідна потужна промислова галузь, що використовує різноманітні технологічні процеси переробки мінеральної сировини та численні типи механічного обладнання для їх реалізації [4-6].

Процеси промивання є складовою частиною загального технологічного процесу збагачення. Від ефективності та якості промивних операцій у значній мірі залежить якість отриманих кінцевих продуктів.

Багато різновидів металевих руд та нерудної гірничої сировини (наприклад, будівельних матеріалів) засмічені значними кількостями глинистих домішок, які є порожньою породою та одночасно заважають проведенню збагачувальних операцій. Що ж стосується розсіпів благородних та рідких металів, то промивання у таких випадках часто буває головним збагачувальним процесом.

Для промивання та знешламлювання мінеральної сировини використовують спеціальне обладнання, принцип діє якого заснований на диспергуванні глинистих частинок та відокремленні їх від корисних компонентів руди [7-10].

З огляду на це, дослідження процесу промивання з метою обґрунтування ра-

ціональних конструктивно-технологічних параметрів промивного обладнання, його створення та успішного промислового впровадження є надзвичайно важливим науково-практичним завданням.

Таким чином, тема представленої магістерської роботи, присвяченої аналізу способів і засобів промивання та знешламлювання корисних копалин та обґрунтуванню раціональних параметрів відповідного механічного устаткування, є, безсумнівно, актуальною.

Мета роботи – аналіз існуючих методів промивання мінеральної сировини від глинистих домішок та розробка рекомендацій щодо створення механічних засобів для їх реалізації.

Об’єкт дослідження – технологічний процес промивання мінеральної сировини шляхом диспергування та відділення глинистих домішок.

Предмет дослідження – промивні машини та апарати.

Наукове положення – розроблені у роботі рекомендації дають можливість запропонувати раціональні конструктивні та експлуатаційні параметри промивного механічного обладнання та забезпечити підвищення ефективності його використання у гірничозбагачувальній промисловості.

1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ТА ОБГРУНТУВАННЯ ТИПУ ОБЛАДНАННЯ

1.1 Основні фізико-механічні властивості глинистих матеріалів

В якості основного елементу, що масово засмічує рудні та нерудні корисні копалини і заважає нормальному проведенню збагачувальних процесів, є глинисті матеріали. Вони зменшують ефективність операцій дроблення, подрібнення і грохочення, погіршують умови транспортування сипких вантажів внаслідок їх зависань в бункерах і налипань у різного роду лійках, обволікають частинки корисних компонентів і екранують їх властивості, за якими відбувається сепарація матеріалу у збагачувальному обладнанні тощо. Глинисті матеріали – основне джерело утворення шламів, які також стають перешкодою для розділення руди на порожню породу та коштовні елементи [5].

За словами засновника науки про ґрунти проф. П.А. Зам'ятченського глини – це мінеральні маси або земляні гірничі породи, здатні утворювати з водою пластичне тісто, а при висиханні зберігати твердість каменю. Вони характеризуються певним мінеральним складом і значним ступенем дисперсності частинок, розмір яких зазвичай не перевищує 1 мкм. В інженерній геології та ґрунтознавстві розрізняють зцементовані та незцементовані гірничі породи. Перші з них мають у своєму складі вапняковий, кременистий, залізистий, гіпсовий та інші види цементів [11].

На відміну від таких порід (наприклад, алевритів), які слабо розмокають у воді, незцементовані рихлі глинисті матеріали роблять це досить швидко (супіски, суглинки, глини). Пластичні властивості глин обумовлені не лише високим ступенем дисперсності, але й пластинчастою формою частинок. У більшому ступені глинисті властивості (пластичність, липкість, здатність зв'язуватися з водою тощо) притаманні таким мінералам, як монтморилоніти, у меншому каолінітам, що пояснюється у першу чергу будовою кристалічних решіток мінералів.

Властивості глинистих (або, вірніше сказати, дисперсних) матеріалів краще

розглядати з точки зору фізико-хімічної механіки, яка встановлює залежності механічних властивостей твердих тіл та дисперсних структур від їх хімічного складу та будови, а також з'ясовує молекулярні механізми деформацій та руйнувань. І тут важливо пам'ятати, що енергія будь-якої дисперсної системи складається з внутрішньої та поверхневої енергій кожної частинки, причому найбільше значення має остання. Вона надає поверхні частинки з відносно значною поверхневою енергією властивість інтенсивного змочування водою (гідрофільності), а поверхні частинки з малою поверхневою енергією – поганого змочування (гідрофобності).

Поверхнева енергія частинки характеризується поверхневим натягом та електричним зарядом на її поверхні. Чим більше електрокінетичний потенціал, тим більше поверхнева енергія та гідрофільність частинки.

На здатність глини розмочуватися у воді впливає також *іонний склад* останньої, тобто наявність у ній різних солей та перехід у рідку фазу іонів з поверхонь мінеральних частинок. При цьому одні іони сприяють диспергуванню глини у воді, а інші, навпаки змушують дрібні частинки коагулювати у більш крупні агрегати.

З огляду на це, мінеральний склад породи здебільшого визначає іонний склад пульпи, тому різні глини мають різну здатність до набухання та самодиспергування у водному середовищі.

Основною характерною ознакою глини вважається її *пластичність* як здатність матеріалу до незворотних змінень форми при постійному об'ємі без порушення суцільності. Вона може характеризуватися числом пластичності – різницею між межами плинності та розкочування, які виражаються через вміст вологи, %.

За допомогою числа пластичності можна оцінювати глиновмісні породи. Наприклад, для супісків воно менше 7, для суглинків знаходиться в інтервалі між 7 до 17, для глин – більше 17.

Другом важливим показником глини є її *консистенція*. Це певна сукупність реологічних властивостей в'язкопластичного тіла, які визначають рухомість (густину) матеріалу. Згідно з будівельними нормами і правилами показник консистенції B може бути знайдений за наступною формулою [11]:

$$B = \frac{W - W_p}{W_n}, \quad (1.1)$$

де W – природна вологість глини, %; W_p – межа розкочування, %; W_n – число пластичності, %.

Для практичного визначення консистенції глин служить такий прилад, як пластомір.

До основних властивостей глин відноситься також *міцність*, від якої залежить опірність процесу руйнуванню матеріалу під час промивання. Міцність Π може бути визначена за такою формулою [11]:

$$\Pi = \Delta l p, \quad (1.2)$$

де Δl – змінення розміру зразка глини без порушення його суцільності; p – навантаження, при якому досягається Δl .

За методом П.А. Ребіндера міцність глин може характеризуватися межею пружності на зсув, яка визначається за допомогою впровадження у глину конусу (метод конічного пластомеру). Межа пружності τ при цьому дорівнює середньому дотичному напруженню поверхні контакту конуса з досліджуваним зразком глини [11]:

$$\tau = \frac{G \cos^2\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{\pi h^2\left(\frac{\alpha}{2}\right)}, \text{ Па}, \quad (1.3)$$

де G – вага конуса, Н; h – глибина впровадження конуса у глину, м; α – кут при вершині конусу, град.

За деякими даними, межа пружності на зсув повніше характеризує опірність глини руйнуванню, ніж пластичність, виражена числом пластичності.

Пластичні властивості глини у значній мірі залежать від *вмісту води* у ній. При цьому потрібно враховувати, що вода у складі дисперсних матеріалів може знаходитися у вигляді хімічно зв'язаної води (такої, що входить у кристалічну решітку матеріалу), адсорбційної води у вигляді мономолекулярного шару на поверхні частинки та вільної води, що заповнює її пористий простір.

Граничне насичення глини водою визначається як максимальна молекуляр-

на вологоємність. Цей показник для супісків складає 9-13%, а для суглинків і глин – 25-35% і може бути прийнятий в якості еталонного для характеристики властивостей глин.

З пластичністю тісно пов'язана така властивість глин, як *липкість*. Під нею розуміють здатність достатньо в'язкої рідини прилипати до твердої поверхні. Липкість глин обумовлюється наявністю колоїдного прошарку між твердою поверхнею та поверхнями глинистих матеріалів. Звісно, ця властивість з'являється лише за умови достатнього зволоження глини. Робота адгезії (прилипання) рідини до твердого тіла виражається рівнянням Дюпре-Юнга і може бути виміряна за допомогою спеціальних приладів – адгезіометрів [11]:

$$A = \gamma(1 - \cos \varphi), \quad (1.4)$$

де γ – поверхневий натяг; φ – крайовий кут змочування.

Характерною ознакою глин є їх здатність до *набухання* у водному середовищі. У загальному випадку, чим більше поверхнева енергія частинок, тим у більшому ступені спостерігається набухання глин.

1.2 Умови утворення шламів, їх властивості та вплив на протікання процесів збагачення мінеральної сировини

Шлами – це тонкі мінеральні частинки, максимальний розмір яких може бути різним для різних видів мінеральної сировини. Наприклад, для руд чорних і кольорових металів шламами вважаються частинки розміром менше 15 мкм, для вугілля – менше 500 мкм, для нерудних матеріалів – менше 150 мкм.

Розрізняють первинні та вторинні шлами. Перші з'являються природним шляхом внаслідок вивітрювання гірничих порід, коливань температури, впливу води, вуглекислоти та кисню. Другі утворюються через руйнування матеріалу в процесі його транспортування та переробки. Для глинистих порід характерне особливо інтенсивне шламоутворення саме вторинного типу.

Тонкі частинки мають високу поверхневу енергію як за рахунок значного

збільшення їх сумарної питомої поверхні, так і внаслідок підвищеної поверхневої активності.

Поверхнева активність мінеральних частинок може бути оцінена за допомогою потенціометричного методу, який дозволяє побудувати криві кінетики процесу окислення матеріалу у водному середовищі. На рис. 1.1 показана залежність величини питомої ЕРС (електрорушійної сили) від часу t для частинок галеніту (PbS). З неї випливає, що активність одиниці поверхні цього матеріалу зі зменшенням крупності його частинок зростає [11].

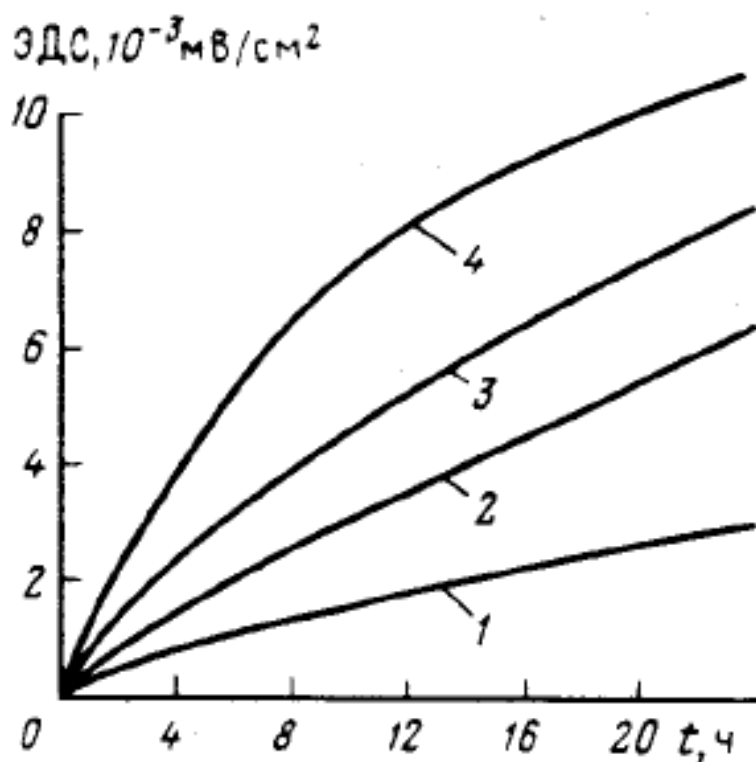


Рисунок 1.1 – Залежність питомої ЕРС галеніту від часу t для крупності частинок 74-150, 44-74, 10-20 та 0-10 мкм (відповідно криві 1, 2, 3 і 4)

Найбільша поверхнева активність спостерігається у вторинних шламів порід магматичного походження. Це може бути пояснено тим, що у процесі дроблення та подрібнення матеріалу руйнуються кристалічні решітки мінералів, в результаті чого некомпенсовані зв'язки надають поверхні тонких частинок високу активність. Глинисті шлами і тонкі мули мають значно меншу поверхневу активність, ніж вторинні шлами. Проте внаслідок більшого вмісту первинних шламів у

порівнянні з утвореними вторинними присутність перших у більшому ступені ускладнює подальші технологічні процеси збагачення.

Характер цього впливу буде залежати від конкретного збагачувального процесу. Наприклад, тонкодисперсні частинки корисних мінералів та порожніх порід мають аномальні флотаційні властивості. Для частинок корисних мінералів такої крупності характерна значно нижча флотаційна активність у порівнянні з частинками порожніх порід, тобто вони відрізняються поганою придатністю до флотації або навіть зовсім не підходять для цього. У цілому, руди з первинними шламами у вигляді глинистих частинок відносяться до найбільш важкозбагачуваних за допомогою флотаційних методів. Утім, і вторинні шлами, що утворюються в результаті тонкого переподрібнення руд і вугілля, також негативно впливають на процес флотації.

Сучасні теоретичні погляди на характер і причини впливу тонких шламових частинок на флотацію базуються в основному на гіпотезах, які досі не мають достатньо надійного експериментального підтвердження. Наприклад, існує припущення, що прилипання частинок матеріалу до бульбашки повітря відбувається по тріщинах спайності кристалів мінералу, тому тонкі частинки з меншою кількістю тріщин флотуються значно гірше крупних. Інша гіпотеза пояснює погіршення процесу флотації броунівським рухом тонких частинок.

Проте, більш правильним, напевно, є припущення, що утворення шламових покрив на поверхні зерен корисних мінералів засновано на коагуляційному та флокуляційному механізмах. Адже, якщо частинки матеріалу гідрофобні або якщо його зерна покриті гідрофобною речовиною, то за умови близького знаходження під водою вони неодмінно злипнуться.

Дрібні частинки розміром менше 10 мкм погано флотуються внаслідок малої ймовірності зіткнення з бульбашками повітря через захоплення їх потоками води, що обтікають ці бульбашки. Для покращання ситуації дрібні частинки потрібно флокулювати за допомогою реагентів-збирачів, але це не дуже допомагає через малу вибірковість процесу флокуляції та необхідність у величезній сумарній площині поверхні бульбашок, яку у сучасних флотаційних машинах досягти

не вдається.

Для підвищення ефективності флотації шламових матеріалів досить хороші перспективи має процес вакуумної флотації, але поки що через низьку продуктивність його промислове використання залишається економічно недоцільним.

На основі аналізу теоретичного та експериментального матеріалу можна зробити висновок, що механізм прикріплення частинки мінералу до бульбашки повітря однаковий як для крупних частинок, так і для дрібних; тобто на процес їх флотації впливають однакові фактори, проте ступені їх впливу різні. Ті, що важливі для флотації крупних частинок, відіграють меншу роль для дрібних і навпаки. Але одне правило працює постійно: у дисперсних системах вплив поверхневих сил у порівнянні з об'ємними тим вище, чим вище ступень дисперсності частинок.

Практика флотації у цілому показує, що перед проведенням цього збагачувального процесу руду потрібно знешамлювати. У випадку ж достатньо високого вмісту корисного компонента у шламах процес флотації доцільно проводити роздільно: для шламової фракції та для знешамленого продукту.

Значний вплив шламів на результати збагачення мінеральної сировини має місце при застосуванні гравітаційних методів сепарації. Як відомо, вони засновані на використанні різниці швидкостей падіння мінеральних зерен у водному або водяному середовищі під впливом сил тяжіння з урахуванням густини та розмірів цих зерен. Це розділення матеріалів у гідравлічних класифікаторах, відсадка, збагачення у важких середовищах, збагачення на шлюзах.

Загальною рисою, що характеризує усі ці операції, є різке уповільнення процесу розділення мінеральних частинок із зменшенням їх крупності, тобто зниження продуктивності збагачення.

Наприклад, при розділенні пісків у висхідному потоці води у камерних гідрокласифікаторах продуктивність процесу розраховують за показниками роботи останньої камери, де видаляються у злив найтонші частинки. Коли їх дуже багато, площі осадження (дзеркала води) не вистачає і продуктивність класифікатора різко падає.

Під час відсадки шлами не лише самі погано збагачуються, але й погіршують процес розділення більш крупного матеріалу через підвищення в'язкості пульпи. Ці частинки залишаються незбагаченими, рівномірно розподіляючись між концентратом і хвостами. Концентрат при цьому засмічується порожньою породою, а з хвостами губляться тонкі частинки корисного мінералу.

Аналогічна картина спостерігається під час відсаджувального збагачення руд рідких та благородних металів, які в основному представлені дрібнозернистим матеріалом. Процес відсадки у цьому випадку суттєво уповільнюється, корисні мінерали і метали не встигають притягнутися крізь приводну чи штучну постіль, внаслідок чого значна їх частина губиться разом з хвостами.

Збагачення у важких середовищах є найбільш якісним методом розділення мінеральних зерен за густиною, в якому незначний вміст шламів може у деяких випадках навіть позитивно впливати на процес, стабілізуючі суспензію. Але зазвичай наявність шламів негативно позначається на протіканні операції розділення зерен, адже в результаті зростання в'язкості суспензій, особливо магнетитових, умови вільного руху частинок різко погіршуються, а дрібні частинки налипають на більш крупні та на обважнювальні елементи. Для попередження цього явища у збагачувальних суспензійних установках приходиться вдаватися до запровадження комплексу складних технологічно-конструкційних заходів з метою розрідження, намагнічування та розмагнічування суспензій.

Розсипні родовища взагалі часто представлені пісками зі значним вмістом глини, для дезінтеграції якої однієї стадії промивання недостатньо, тому для них використовують двостадійний процес видалення шламів.

Що стосується мокрої магнітної сепарації, то й тут шлами забезпечують негативний вплив на ефективність процесу збагачення. Наприклад, залізні руди багатьох родовищ мають глинисті включення, без попередньої дезінтеграції яких збагачення неможливе. Це, у першу чергу, пояснюється тим, що тонкі частинки магнітних мінералів характеризуються аномальними магнітними властивостями. Якщо не провести попереднє знешламлення матеріалу, тонкі частинки порожньої породи будуть коагулювати з магнітними частинками корисного компоненту і по-

трапляти у концентрат, погіршуючи його якість. Крім того, наявність шламів обумовлюватиме втрати корисного компоненту з хвостами.

Нарешті, шлами негативно впливають й на процеси зневоднення продуктів збагачення (таких, як згущення, фільтрація) та освітлення стічних вод. Особливо слід відзначити шкідливість наявності тонких частинок у процесі збагачення нерудних будівельних матеріалів, що використовуються для виробництва бетону.

Чим більше вміст у заповнювачах бетонної суміші (щебені, гравію, піску) тонких та глинистих частинок, тим нижче якість бетону, яка повинна забезпечувати потрібну міцність та довговічність будівельних конструкцій. Згідно з вимогами бетонного виробництва вміст частинок крупністю менше 150 мкм не повинен перевищувати 1-3% у залежності від марки бетону.

У найбільшому ступені погіршує якість бетону грудкова глина, що знаходиться у щебені, гравію та піску. Можна сказати, що присутність її у бетоні є однією з найголовніших причин поломки бетонних виробів. Завдяки своїй сильно розвинутій активній поверхні дрібні глинисті частинки нейтралізують частинки цементу, а їх значне водопоглинання різко знижує рухомість бетонних сумішей та ефективність їх перемішування, внаслідок чого у бетоні утворюються порожнини і тріщини.

Таким чином, операції промивання щебеню, гравію та піску у технологічних схемах дробильно-сортувальних фабрик є обов'язковими, тому що наявність глинистих домішок негативно впливає на усі операції процесу збагачення мінеральної сировини.

1.3 Вибір обладнання для механізації процесу промивання мінеральної сировини

Видалення глинистих включень та знешамлювання мінеральної сировини здійснюється за допомогою спеціального промивного механічного обладнання, яке відрізняється за способами розмивання глини і відділення шламів та конструктивним виконанням. На рис. 1.2 і 1.3 показані основні існуючі принципові схеми

промивних машин і апаратів [5].

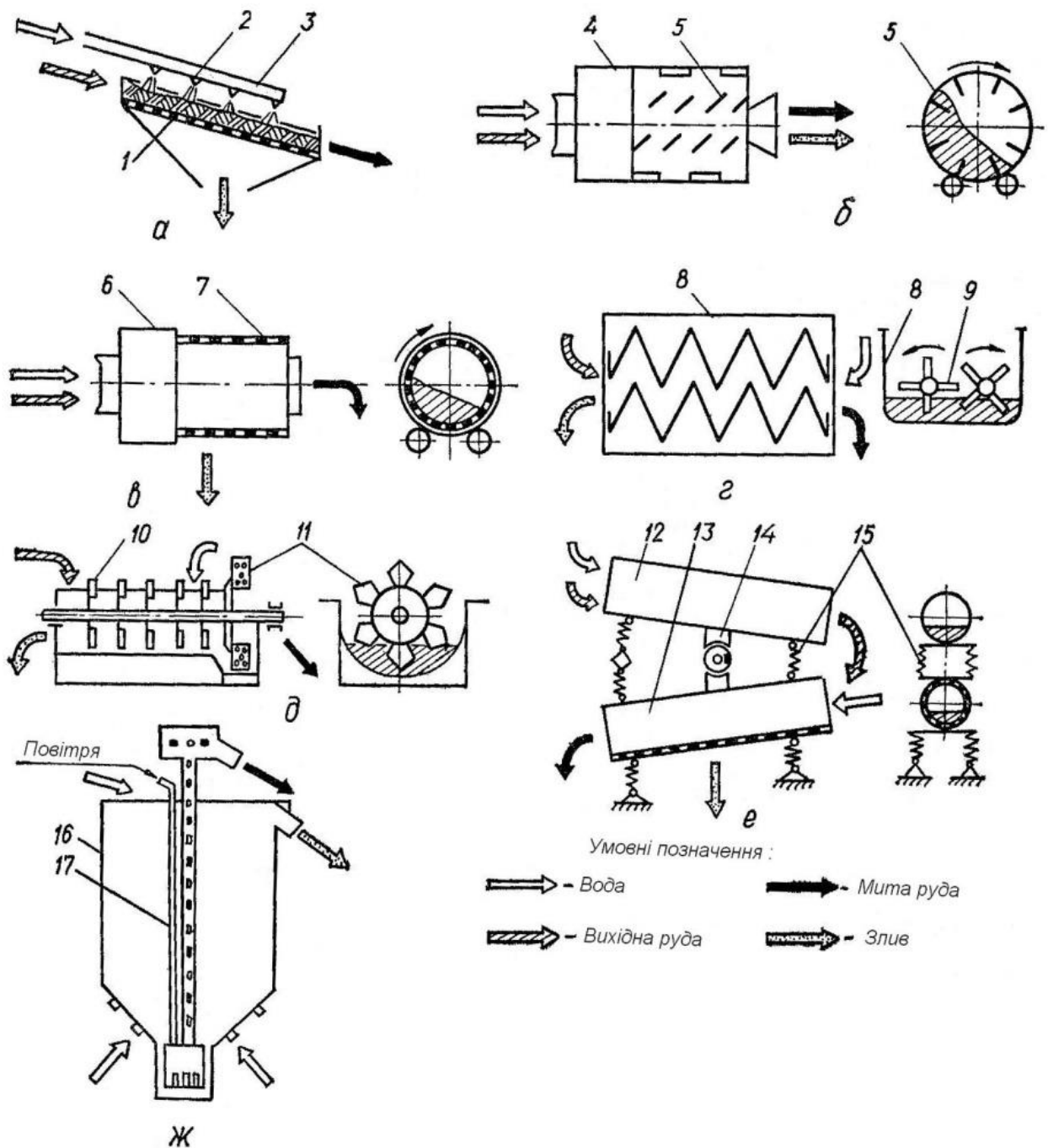


Рисунок 1.2 – Принципові схеми промивних машин та апаратів:

а, б – промивні грохот і барабан (скрубер); в – скрубер-бутара

(гравіємийка-сортувалка); г – коритна мийка; д, е – шабельна

та вібраційна промивні машини; ж – промивна вежа

1 – грохот; 2 – трубопровід; 3 – сопла; 4, 6, 7 – барабани; 5, 9 – лопати;

8 – корито; 10 – шаблі; 11 – елеваторне відділення; 12, 13 – промивні ванни;

14 – ексцентриковий пристрій; 15 – амортизатори; 16 – ємність; 17 – аероліфт

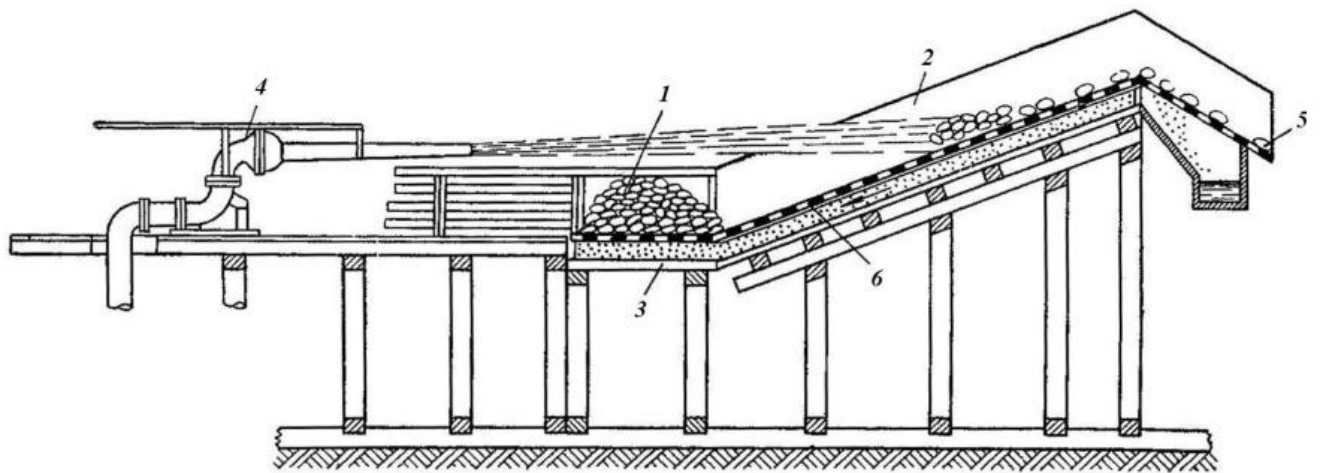


Рисунок 1.3 – Гідравлічний вашгерд (гідромонітор):
 1 – бункер; 2 – гальковий жолоб; 3 – прийомник;
 4 – гідромонітор; 5 – лоток; 6 – решето

З точки зору конструктивного виконання (в основному за типом робочого органу) їх можна розділити на машини і апарати барабанного та коритного типів, а за механізмом впливу на глину в гірничій масі – на установки, які перетирають шматки породи між собою у потоці води (бутари, промивні грохоти, гравіємийки); які відокремлюють глину від руди за допомогою механічних робочих органів типу лопат, шабель, вібраційного лотка тощо (скрубери, коритні та вібраційні мийки); які розмивають глину напірним струменем води (різного роду жолоби та гідромонітори); які розмочують глину шляхом її тривалого перебування у воді (промивні вежі).

Показані на схемах машини та апарати відрізняються ступенем ефективності процесу промивання і використовуються у залежності від цього для обробки порід різного ступеня важкості промивання, потребують різних витрат промивної води (від 1-4 м³ на 1 тону митої руди для грохотів і коритних мийок до 8-12 м³ для гідромоніторів), придатні для обробки матеріалів різної крупності, забезпечують продуктивність роботи від декількох десятків до декількох сотень тонн руди за годину.

Висновки:

- глинисті матеріали, що присутні у багатьох рудах, вугіллі та нерудних корисних копалинах, негативно впливають на проведення практично усіх технологічних операцій збагачувального виробництва. Вони також є основним джерелом утворення шламів, які також стають перешкодою для розділення руди на порожню породу та цінні елементи;

- з огляду на це, операції промивання видобутих корисних копалин у технологічних схемах дробильно-сортувальних фабрик з метою видалення глинистих домішок та тонких шламів у багатьох випадках є обов'язковими;

- для їх реалізації використовуються численні різновиди промивного механічного обладнання, що відрізняється принципом дії, конструктивним виконанням, витратами води тощо.

1.4 Мета і задачі дослідження

Мета роботи – аналіз існуючих методів промивання мінеральної сировини від глинистих домішок та розробка рекомендацій щодо створення механічних засобів для їх реалізації.

Виконаний аналіз негативного впливу глинистих домішок гірничих порід, що видобуваються відкритим і підземним способом, на якість мінеральної сировини та її придатність до подальшої переробки на збагачувальних підприємствах дозволив виявити його недоліки і намітити задачі, які необхідно вирішити для досягнення мети роботи:

- вибрати методи теоретичних та експериментальних досліджень;
- проаналізувати промивну здатність мінеральної сировини;
- дослідити вплив фізико-механічних властивостей глин на їх диспергувальну здатність;
- визначити вплив роботи, витраченої на диспергування, на утворену питому поверхню диспергованої глини;
- проаналізувати фактори, що впливають на промивну спроможність корис-

них копалин;

- оцінити величину енергетичних витрат на процес промивання;
- проаналізувати та обрентувати раціональні параметри промивного обладнання.

Об'єкт дослідження – технологічний процес промивання мінеральної сировини шляхом диспергування та відділення глинистих домішок.

Предмет дослідження – промивні машини та апарати.

2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

Проведення наукових досліджень потребує використання спеціального дослідницького інструментарію – методів пошуку нових знань та нових технічних рішень для подальшого розвитку науки і техніки.

Для цього існують численні загальні та спеціальні методи, що з успіхом застосовуються у науковій діяльності. До перших можна віднести аналіз і синтез, індукцію і дедукцію, абстрагування та конкретизацію, моделювання тощо. Спеціальні методи досліджень враховують особливості тих чи інших галузей науки та виробництва та використовуються на їх стижах.

У представлений магістерській роботі знайшли застосування як ті, так й інші. Наприклад, під час вивчення стану питання при нагоді стався аналітичний метод дослідження.

Властивості глинистих (або, вірніше сказати, дисперсних) матеріалів розглядалися з використанням методів фізико-хімічної механіки, яка встановлює залежності механічних властивостей твердих тіл та дисперсних структур від їх хімічного складу та будови, а також з'ясовує молекулярні механізми деформацій та руйнувань.

Під час аналізу міцності глин застосовувався метод П.А. Ребіндера, згідно з яким цей параметр може характеризуватися межею пружності на зсув, яка визначається за допомогою впровадження у глину конусу (метод конічного пластометру).

Поверхнева активність мінеральних частинок оцінювалася за допомогою потенціометричного методу, який дозволяє побудувати криві кінетики процесу окислення матеріалу у водному середовищі.

Для різних конструктивних схем промивного обладнання застосовувався метод оцінки трудомісткості процесу промивання на ньому мінеральної сировини.

Під час експериментальних досліджень впливу фізико-механічних властивостей глин на їх диспергувальну здатність використовувалися: фотометричний метод для вимірювання концентрації глинистих частинок у суспензії, що утворю-

валася під час розмивання мінеральної сировини високо напірними струменями води; індуктивний метод для вимірювання частоти обертання матеріалу у промивній ванні за величиною наведеної у котушці електрорушійної сили; тензометричний метод для вимірювання величин радіальних та дотичних напружень, що виникали під час руху гідросуміші у промивній ванні.

Для уточнення результатів аналізу залежності питомих витрат енергії від гранулометричного складу матеріалу під час його струминного промивання питомі поверхні гравію досліджуваних класів крупності визначалися методами фільтрації рідини через шар матеріалу та оптичним методом.

З ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ МЕХАНІЗМУ ПРОМИВАННЯ КОРИСНИХ КОПАЛИН

3.1 Аналіз промивної здатності мінеральної сировини

Для відділення глинистих фракцій, що засмічують численні види і типи корисних копалин, їх потрібно зруйнувати та диспергувати, перетворюючи на шлам, який легко видалити потоком промивної води. У залежності від своїх фізико-механічних властивостей та режиму промивного процесу вони у більшому чи меншому ступені намагаються опиратися цим впливам. Оцінити рівень придатності корисних копалин до виконання вказаних операцій можна за допомогою відповідних кількісних оцінок процесу промивання.

Перші спроби оцінки трудомісткості промивання робилися для золотовмісних пісків, які розділяли на декілька класів у залежності від фактичної продуктивності вашгерду, що використовувався для їх розмивання. Проте такий підхід є занадто спрощеним і не дає можливості встановити взаємозв'язок між усіма витратами на промивання конкретного матеріалу та його характерними властивостями.

Для вирішення цього питання було запропоновано враховувати число пластичності глини, що засмічує дану породу. Але прямого зв'язку між ним та придатністю того чи іншого виду глини до розмивання не існує. Крім того, час промивання аналогічних матеріалів у промивному обладнанні різних типів сильно відрізняється.

Є методи оцінки трудомісткості промивання за тривалістю процесу розмокання глини, а, значить, і часу, що витрачається на промивання. Наприклад, такий, в якому визначається міцність глини за величиною занурення у неї конусу, що характеризує опірність матеріалу диспергуванню.

Пропонувалося також оцінювати вміст глини у матеріалі, його гранулометричний склад, час 50%-го диспергування глини та час стабілізації процесу з урахуванням рівняння кінетики тощо. Але усі вони не отримали достатнього визнан-

ня через значну різноманітність впливу фізико-механічних властивостей матеріалу на процес промивання.

Можна також оцінювати трудомісткість процесу промивання за енергією, що витрачається на цей процес. Цей метод враховує витрати електроенергії та тривалість процесу промивання у стандартизованому промивному барабані з певною подачею води. На його підставі можна дати наступну класифікацію матеріалів за цією ознакою (табл. 3.1) [11].

Таблиця 3.1 – Класифікація трудомісткості промивання гірничих порід за питомими енерговитратами процесу

Матеріал	Легкопромивний	Середньопромивний	Важкопромивний
Питомі енерговитрати на процес промивання, кВт·г/т	$\leq 0,25$	0,25-0,5	0,5-1,0

Метод оцінки ступеня промивання за енерговитратами процесу представляється найбільш правильним з огляду на те, що максимально комплексно відображає властивості матеріалу, який піддається промиванню.

Дослідження показують, що легкопромивними гірничими породами виявляються здебільшого такі, що засмічені піщаними глинами (зі значними домішками піску), середньопромивними – з в'язкими глинами, а важкопромивними – з особливо в'язкими глинами, які важко піддаються руйнуванню.

Для орієнтовної оцінки трудомісткості процесу промивання можна також використовувати його найбільш характерну властивість – здатність глини до розмивання (диспергування). Це властивість глини руйнуватися (розпадатися на більш дрібні складові частини) у водяному середовищі під дією зовнішніх механічних зусиль. Вона залежить від гранулометричного і мінерального складу глинистих частинок, пластичності (яка характеризується числом пластичності), вологості, граничного напруження зсуву тощо. З усіх цих властивостей потрібно виділити

найбільш характерну – ту, що в основному й визначає здатність породи до розмивання.

3.2 Дослідження впливу фізико-механічних властивостей глин на їх диспергувальну здатність

Для проведення досліджень з оцінки придатності мінеральної сировини до промивання свого часу був використаний лабораторний стенд струминного промивання, принципова схема якого показана на рис. 3.1 [11].

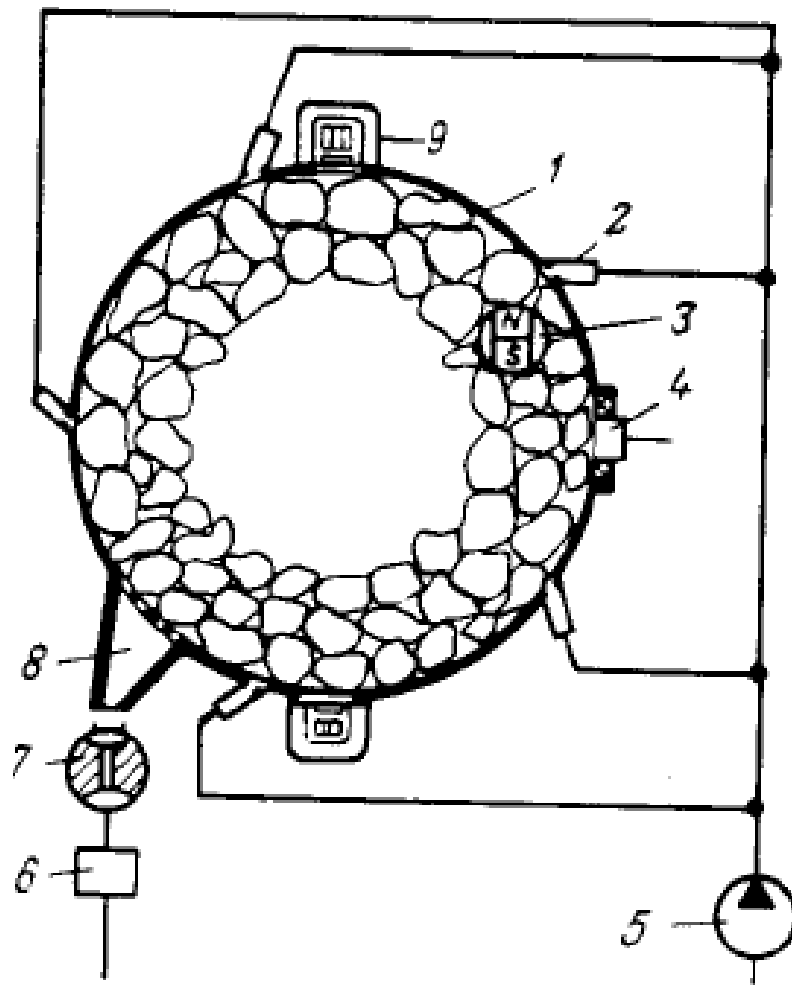


Рисунок 3.1 – Принципова схема лабораторного стенду струминного промивання мінеральної сировини:
1 – ванна; 2 – сопла; 3 – магніт; 4 – тензометричний датчик;
5 – насос високого тиску; 6 – фотометричний датчик;
7 – скорочувач суспензії; 8 – лоток; 9 – індуктивні датчики

Принцип роботи стенду заснований на перемішування досліджуваного матеріалу високонапірними струменями води. Стенд складається з нерухомої циліндричної ванни 1, закритої з торців кришками. На внутрішній стінці ванни під кутом 40° до її радіусу встановлені сопла 2, під'єднані до насоса високого тиску 5.

Стенд постачений лотком 8 для відведення глинистої суспензії, що утворюється у процесі промивання, та обертовий скорочувач суспензії 7 конічної форми.

До комплекту стенду входить також вимірювальна апаратура: датчики (два індуктивні 9, тензометричний 4 і фотометричний 6) та шлейфовий осцилограф. Фотометричний датчик у формі пульповоду прямокутної форми призначався для безупинного замірювання концентрації глинистих частинок у суспензії. Світло від лампи з одного кінця пульповоду проходило через суспензію і потрапляло на фотоеlement. Від концентрації глини у пульпі залежала інтенсивність світлового потоку, а зміна електрорушійної сили (ЕРС) при цьому фіксувалася на стрічці осцилографа.

Індуктивні датчики у вигляді котушок зі сталевим осердям прямокутного перетину служили для вимірювання частоти обертання матеріалу у промивній ванні, тобто, фактично, інтенсивності процесу його перемішування. У ванну стенду у досліджуваній матеріал закладали бетонну кулю з магнітом 3 (розмір кулі відповідав розмірам шматків оброблюваного матеріалу), яка оберталася у процесі досліду разом з ним і під час проходження біля котушки датчику наводила у ній ЕРС, величина якої також записувалася осцилографом.

За допомогою тензодатчика вимірювалися величини радіальних та дотичних напружень, що виникали під час руху гідросуміші у промивній ванні. Датчик мав форму двохконсольної балочки з двома тензорезисторами.

Під дією струменів води, що подавалася під тиском, матеріал у ванні перемішувався, глина диспергувалася, утворена глиниста суспензія видалялася у лоток через щілини у ванні і стікала в обертовий горизонтальний скорочувач суспензії. За даними, записаними на стрічках осцилографа, будувалися графіки змінення концентрації глинистих часток у часі.

Для визначення енергоємності процесу, тобто роботи, що витрачалася на промивання матеріалу, вимірювали потужність потоку гідросуміші, яка оберталася у ванні (за його швидкістю), а потім розраховували питому витрату електроенергії.

В якості матеріалу для промивання використовували гравій крупністю 20-40 мм з 10% глини, яка мала межу пружності на зсув 0,21 МПа. Температура води дорівнювала 8° С, рН середовища – 7,75.

Спочатку проводили досліди при різному ступені заповнення ванни матеріалом та постійному тиску струменів води, що дорівнював 1,2 МПа (перша серія дослідів). Результати замірів приведені у табл. 3.2 [11], а графіки залежностей, побудовані на їх основі – на рис. 3.2а. Отримані дані свідчать, що в міру заповнення промивної ванни матеріалом зменшується швидкість руху гідросуміші (знижується інтенсивність її перемішування) та зростає час диспергування. Питомі витрати енергії при цьому змінюються відносно незначно.

Друга серія дослідів проводилася при постійному заповненні промивної ванни матеріалом (гравій крупністю 6-10 мм), а змінювався тиск струменів води. Результати замірів представлені у табл. 3.3 [11], а графіки відповідних залежностей – на рис. 3.2б. З них видно, що з підвищенням тиску струменів води зростає швидкість руху матеріалу та зменшується час диспергування глини. Витрати енергії знову змінюються незначно.

Таким чином, величина питомих витрат енергії на розмивання глини практично не залежить від інтенсивності перемішування матеріалу, тобто цей параметр можна прийняти в якості основного показника, що характеризує здатність глин до розмивання та матеріалу до промивання.

Для аналізу впливу властивостей глин на їх здатність до розмивання були проведені дослідження на лабораторному стенді вібраційного промивання, схема якого показана на рис. 3.3 [11]. Стенд був виконаний у вигляді коробу 5 з вібробудником 4, що повідомляв йому кругові коливання з частотою 16,7 Гц та амплітудою 5 мм. У нижній частині коробу була передбачена решітка 2 для видалення з нього глинистої суспензії. У короб завантажували матеріал, приготований із сумі-

Рисунок 3.2 – Графіки залежності швидкості руху гідросуміші v , часу диспергування глини t та питомих витрат енергії q при:
 a – змінненні ступеня заповнення промивної ванни матеріалом m та постійному тиску струменів води p ; b – змінненні тиску струменів води p та постійному ступені заповнення промивної ванни матеріалом m

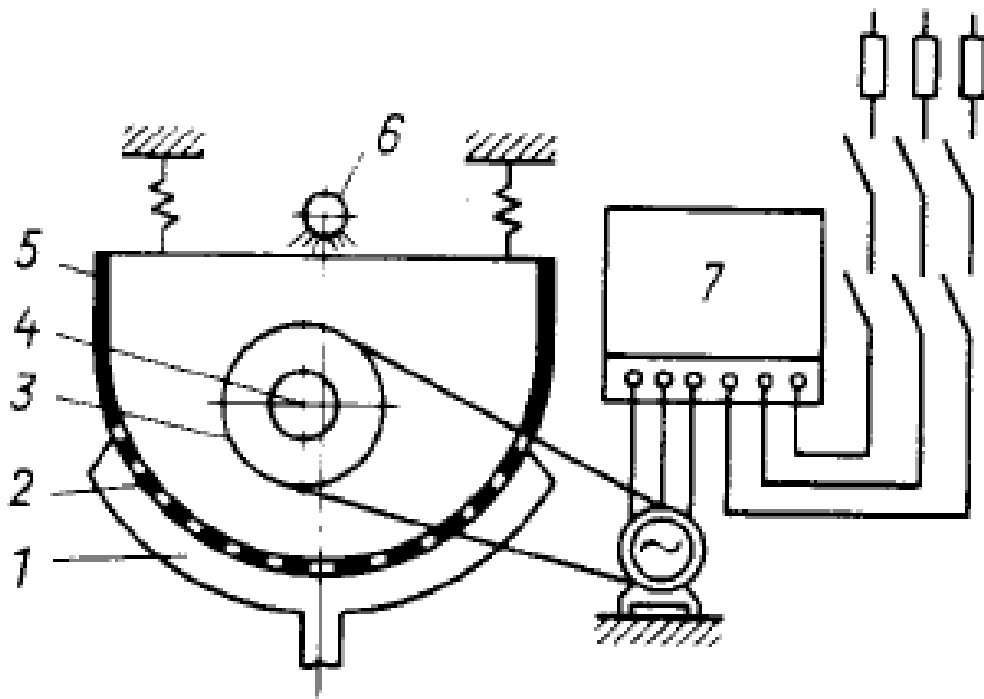


Рисунок 3.3 – Принципова схема лабораторного стану вібраційного промивання мінеральної сировини:
1 – збірник шламів; 2 – решітка; 3 – змінний шків; 4 – вібророзбудник;
5 – короб; 6 – водовід; 7 – ватметр-самописець

ші щебеню і глини, заливали воду зі шлангу до певного рівня, який підтримувався постійним, а потім вмикали вібророзбудник.

Вважається, що найважче промиваються монтморилонітові глини та глини з великим числом пластичності, а найлегше – каолінітові та з малим числом пластичності. Але результати досліджень, проведених на вібраційному стенді, показали, що це не завжди відповідає дійсності й часто залежить від конкретного типу родовища, з якого походить та чи інша глина. Найбільш характерною властивістю, що визначає здатність глин до розмивання, виявилася межа пружності на зсув, із збільшенням якої зростає час, необхідний на розмивання, а, значить, й питомі витрати енергії [11].

Це не постійна величина, вона залежить від вмісту води у глині, але чіткого взаємозв'язку між межею пружності на зсув та вологістю, тим не менш, не прослідковується. Справа, скоріше за все, у тім, що у процесі розмокання та набухання глини у воді її само диспергування відбувається внаслідок швидкого збільшен-

ня об'єму глинистих агрегатів завдяки утворенню водних оболонок та відносно повільного проникнення води всередину маси глини. Результатом стає різка об'ємна різниця між набухлими гідратованими та суміжними сухими шарами. Швидкість набухання, у свою чергу, залежить від ступеня дисперсності частинок: чим вона більше, тим швидше відбувається процес утворення водних оболонок та уповільнюється швидкість розпаду глини через ускладнення проникнення води в її масу.

Процес диспергування можна прискорювати або уповільнювати використанням електролітів, причому однакові електроліти можуть по різному впливати на глини різних типів. Понизити ступінь гідратації та підвищити швидкість розпаду глин можна також шляхом введення домішок зі слабкою здатністю до гідратації, наприклад піску.

Регулювати величину межі пружності глини на зсув і відповідно здатність її до розмивання можна зміненням вологості матеріалу. На рис. 3.4 приведена залежність часу диспергування глини t від межі її пружності на зсув τ [11]. Наявність двох різних ділянок на графіку пояснюється тим, що верхня межа пластичності глини відповідає приблизному значенню межі пружності на зсув, яка дорівнює 0,21 МПа для усіх типів глин. Далі, при $\tau > 0,21$ МПа глина втрачає пластичність та наближається за своїми властивостями до твердого пружного тіла. На приведеному графіку така перехідна зона характерна для $0,15 < \tau < 0,21$ МПа.

Отримані закономірності характерні для усіх способів промивання, заснованих на механічному перемішуванні матеріалу у водяному середовищі, коли диспергування глини здійснюється за рахунок взаємного тертя шматків матеріалу між собою та відносно стінок ванни і робочих органів машини. Для з'ясування відмінностей процесу промивання спрямованими струменями води, коли диспергування у значного ступені досягається ударами струменів по поверхні глинистих частинок, були проведені дослідження особливостей розмивання глиняних брикетів рухомим спрямованим струменем води під тиском 1,2 МПа, поздовжній швидкості руху сопла 0,525 м/с та діаметрі насадку сопла 4 мм. Енергоємності цих двох способів промивання порівнювали для глин з різними значеннями межі пружності

на зсув. З результатів дослідження, приведених у табл. 3.4, видно, що при розми-
ванні дуже міцних руд (з межею пружності на зсув $\tau \geq 0,5$ МПа) питомі витрати
енергії менше, чим при диспергуванні глини методом механічного стирання.

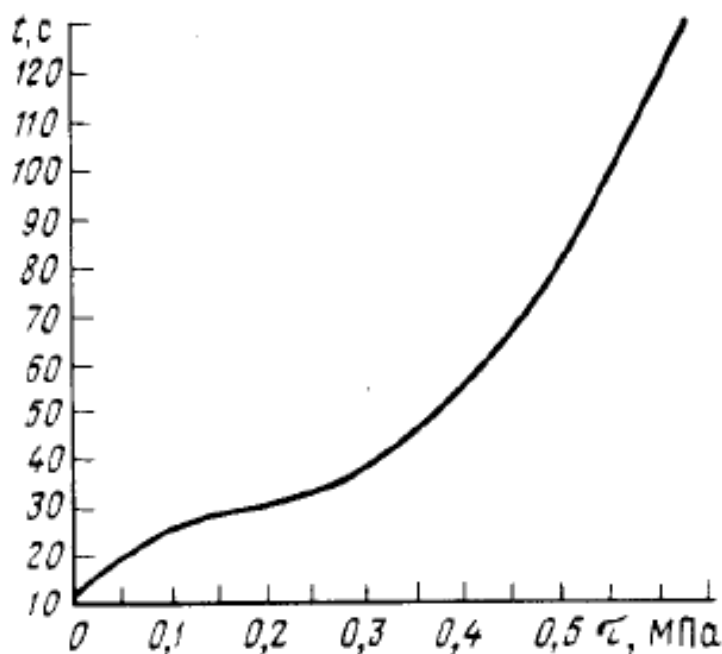


Рисунок 3.4 – Залежність часу диспергування глини t
від межі її пружності на зсув τ

Таблиця 3.4 – Порівняльний аналіз питомих витрат енергії на диспергування
глини різними способами, кВт·г/т

Межа пружності глини на зсув, МПа	Спосіб промивання		Межа пружності глини на зсув, МПа	Спосіб промивання	
	стиранням	спрямованими струменями		стиранням	спрямованими струменями
0,05	0,0775	0,196	0,35	0,407	0,721
0,1	0,156	0,47	0,4	0,525	0,74
0,15	0,194	0,67	0,45	0,67	0,76
0,2	0,22	0,68	0,5	0,85	0,785
0,25	0,255	0,69	0,55	1,075	0,811
0,3	0,303	0,705	0,6	1,32	0,84

Пояснити це можна тим, що у межах пластичності глина під впливом високонапірних струменів води більше деформується, ніж розмивається. А чим більше вона стає схожою з твердим тілом, тим краще руйнується з утворенням крупнодисперсної суспензії, що сприяє меншому зростанню питомих витрат енергії. Тому спосіб розмиву спрямованими струменями води рекомендується застосовувати у двох випадках: при дуже значній міцності глини ($\tau > 0,5$ МПа) та при дуже високому вмісті її у сировині.

Проведені дослідження дали можливість дещо уточнити класифікацію трудомісткості промивання гірничих порід за питомими енерговитратами процесу, яка була приведена у табл. 3.1. Уточнена класифікація приводиться у табл. 3.5.

Таблиця 3.5 – Уточнена класифікація трудомісткості промивання гірничих порід за питомими енерговитратами процесу

Матеріал	Легко-промивний	Середньо-промивний	Важко-промивний	Вельми важко-промивний
Питомі енерговитрати на процес промивання, кВт·г/т	< 0,5	0,5-1,5	1,5-3,0	> 3

3.3 Визначення впливу роботи, витраченої на диспергування, на утворену питому поверхню диспергованої глини

Для дослідження взаємозв'язку між роботою, яка витрачається на диспергування глини методом стирання, та питомою поверхнею глинистих частинок, що утворюється при цьому, використовувався спеціальний лабораторний апарат, який виключав можливість впливу на процес диспергування інших факторів. Його принципова схема приведена на рис. 3.5 [11]. Апарат складався з підстави 13, знизу до якої кріпилася знімна циліндрична капсула 14. У центрі підстави на підшипниках 5 встановлювався барабан 6 з валом 7 у центрі. На нижній частині валу за-

кріплювалося стираюче сталеве кільце 15 з насічками. Для усунення додаткового стираючого впливу на глину внутрішня поверхня кільця виконувалася з кутом нахилу до центру, а зовнішня – від центру. У барабан вільно входили пальці 9 на вантажонесучій підставці 8, насаджений на вал 7. У підставі передбачалися водопідвідна труба 1 та пульповідвідна трубка 11, спрямована на комплект сит 12. За допомогою шкали 10 заміряли глибину занурення кільця 15. На барабані був намотаний шнур 3, перекинутий через блок 4, на нижньому кінці якого була закріплена підвіска 2 для вантажу.

Для проведення експерименту капсулу 14 запресовували досліджуваною глиною та закріплювали на підставі затискним гвинтом. Вантажонесучу підставку 8 піднімали разом з валом 7 і кільцем 15 аж до виходу пальців 9 з отворів барабану 6. На барабан намотували шнур 3, після чого підставку опускали таким чином, щоби пальці увійшли в отвори барабану. На підставку встановлювали вантаж для притискання стираючого кільця до глини.

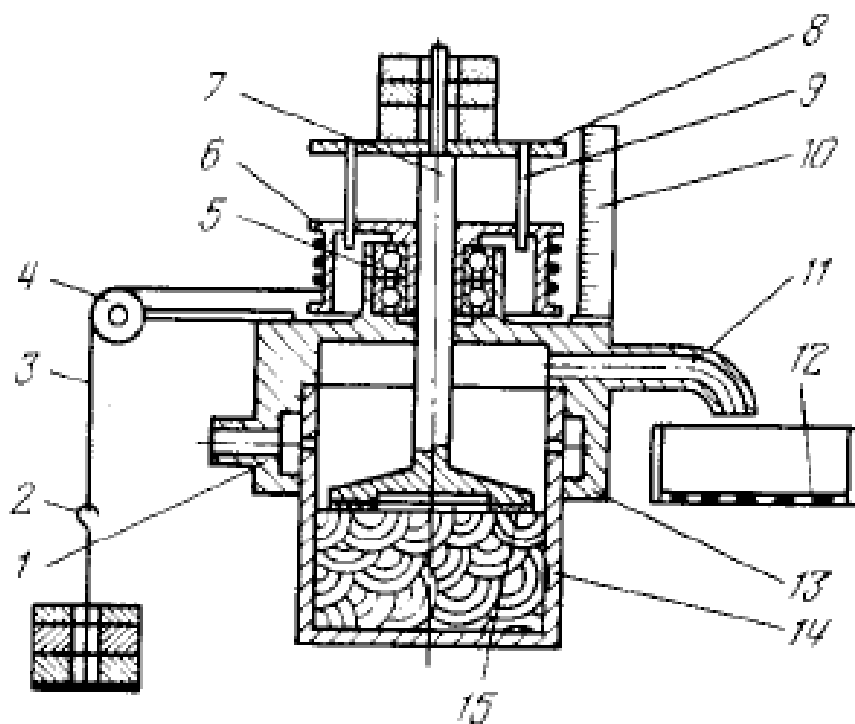


Рисунок 3.5 – Схема лабораторного апарату для дослідження впливу роботи, витраченої на диспергування, на утворену питому поверхню диспергованої глини:

- 1 – водопідвідна труба; 2 – підвіска; 3 – шнур; 4 – блок; 5 – підшипники;
6 – барабан; 7 – вал; 8 – підставка; 9 – пальці; 10 – шкала; 11 – пульповідвідна трубка; 12 – комплект сит; 13 – підстава; 14 – капсула; 15 – кільце

Після цього через водопідвідну трубу до капсули подавали воду. На капсулі були передбачені отвори, через які вода рівномірно поступала на поверхню глини для її зволоження. На підвіску 2 навішували вантаж, під вагою якого вона опускалася до заданого рівня. У процесі опускання підвіски шнур 3 обертав барабан 6, який через пальці 9, підставку 8 і вал 7 повідомляв обертовий рух стираючому кільцю 15. Диспергована глина у вигляді суспензії через трубку 11 поступала на сито 12.

Загальна робота вантажу, що опускався, складала:

$$A_0 = GH, \quad (3.1)$$

де G – вага вантажу на підвісці; $H = 1,5$ м – висота опускання вантажу.

Для визначення роботи, яку виконувало кільце під час його тертя відносно поверхні глини, враховували кінетичну енергію вантажу A_1 , кінетичну енергію обертових мас (валу, кільця, барабану, вантажу на підставці) A_2 , а також втрати енергії у підшипниках і на тертя кільця відносно води A_3 :

$$A_1 = \frac{Gv^2}{2g}; \quad A_2 = \frac{J\omega^2}{2}; \quad A_3 = G_0H. \quad (3.2)$$

Тоді робота, що виконує кільце під час його тертя відносно поверхні глини, дорівнювала:

$$A = A_0 - A_1 - A_2 - A_3. \quad (3.3)$$

Об'єм розмитої глини обчислювали за глибиною занурення кільця у глину h та площею стираючої поверхні s : $V = hS$, а питому витрату енергії на процес диспергування – за формулою: $q = \frac{A}{V}$.

Досліди проводилися при різних навантаженнях на підвісці (7,5-25 Н) та вантажонесучій підставці (13-43 Н).

Як показали проведені дослідження, між питомою витратою енергії q та питомою поверхнею диспергової глини S існує прямо пропорційна залежність (рис. 3.6), яка з коефіцієнтом кореляції 0,97 описується наступним рівнянням [11]:

$$q = 9,6S. \quad (3.4)$$

Таким чином, питомі витрати енергії прямо пропорційні питомій поверхні диспергованої глини.

На рис. 3.7 показані залежності питомих витрат енергії q (1) та питомої поверхні S (2) диспергованої глини від межі її пружності на зсув τ [11].

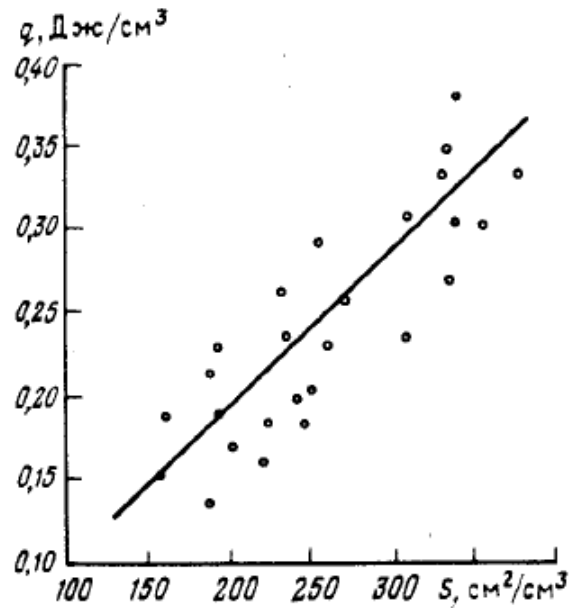


Рисунок 3.6 – Залежність питомих витрат енергії q від питомої поверхні S диспергованої глини

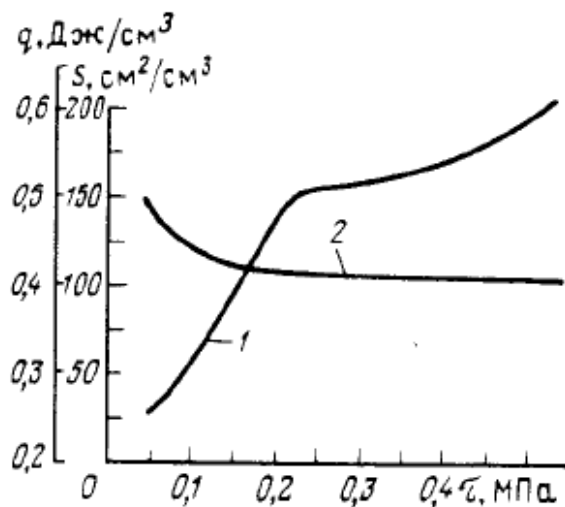


Рисунок 3.7 – Залежності питомих витрат енергії q (1) та питомої поверхні S (2) диспергованої глини від межі її пружності на зсув τ .

Перша з них описується (як й у випадку дослідження на струминному стенді) двома параболою, що переходять з однієї в іншу при значенні межі пружності на зсув, що дорівнює 0,21 МПа. З другої випливає, що у межах пластичності глини з підвищення її міцності спостерігається значне зниження питомої поверхні, а за межами пластичності питома поверхня майже не змінюється. Тобто, у межах пластичності глини змінення міцності матеріалу значно впливає на питомі витрати енергії, що обумовлено утворенням тонкодисперсної суспензії. При диспергуванні міцніших глини утворюється крупнозерниста суспензія, тому парабола, що описує залежність, має більш пологі форму.

3.4 Аналіз факторів, що впливають на промивну здатність корисної копалини

До основних факторів, що впливають на процес промивання, відносять:

- гранулометричний склад матеріалу, який промивається;
- вміст у ньому глини;
- шорсткість поверхні каменю;
- здатність глини до розмивання.

Останній фактор також залежить від різних причин, змінення яких може служити важелем регулювання ефективності збагачення.

Наприклад, у багатьох випадках виявляється доцільним *попереднє замочування* гірничої маси перед її промиванням для зниження міцності глини.

В інших випадках позитивний вплив на процес протікання промивки руди може бути отриманий, навпаки, за рахунок *попереднього підсушування* матеріалу. Розмивання глини після підсушування прискорюється завдяки тому, що колоїдні прошарки під час висихання забезпечують міцне зчеплення окремих глинистих мінералів. Потім, під час зволоження підсушеного матеріалу, зовнішній шар глини швидко зростає в об'ємі і під дією нерівномірних напружень сколювання розтріскується, що сприяє більш інтенсивному диспергуванню глини у воді.

Для зниження міцності глини у промивну воду *додають електроліти*. При

витраті електроліту до 1% у перерахунку на суху масу глини тривалість процесу промивання можна скоротити приблизно удвічі. Це відбувається за рахунок зменшення ступеня гідратації у розчинах солей, зростання дифузії води у масу глини та прискорення через це процесу її розпаду.

На здатність глини до розмокання суттєво впливає температура промивної води. Наприклад, різке покращання процесу промивання спостерігається при *підігріві води до 65° C*. Подальший підігрів (до 85° C), навпаки, уповільнює зростання ефективності процесу, а при ще більшому підігріві швидкість промивання стає майже незалежною від температури води. Позитивний вплив підвищеної температури промивної води пояснюється зменшенням товщини гідратних оболонок та зниженням в'язкості рихлозв'язаної води у масі глини, що й викликає зниження міцності глини. Проте для глин з багатьма порами та мікротріщинами може бути зворотний ефект – уповільнення диспергування глини у гарячій воді.

Значний вплив на процес промивання мають *питомі витрати води*. Адже вода є тим дисперсійним середовищем, у яке переходять дисперговані частинки глини, тому недостатня кількість води завжди призводить до зниження ефективності промивання мінеральної сировини – рідка фаза швидко насичується глинистими частинками і вони починають коагулювати. Але й надлишок води викликати падіння ефективності процесу – матеріалу у пульпі мало і під час його диспергування не усі шматки сировини будуть зіштовхуватися між собою, деякі лише омиватимуться водою, чого буде недостатньо. Вважається, що, наприклад, для барабанних мийок відношення твердої фази до рідкої у промивній ванні повинно бути у межах 1:0,2-1:0,5. Для коритних мийок максимальною витратою води є величина 1,5 м³/т, її подальше підвищення не призводить до зростання ефективності процесу промивання, тобто воно економічно невиправдане.

У найбільшому ступені на ефективність промивання матеріалу впливають його *гранулометричний склад та співвідношення між крупністю шматків глини та неруйнівного каменю*. Існує гіпотеза, що дрібні зерна матеріалу створюють контакт між каменем і глиною, а крупні зерна обумовлюють стискання глини. І за мала, і надмірна кількості крупних зерен негативно впливають на процес диспер-

гування глини. У першому випадку це пояснюється недостатнім тертям, а в другому – замалою площею контакту каменю з глиною.

Для виявлення залежності питомих витрат енергії від гранулометричного складу матеріалу на стенді струминного промивання (див. рис. 3.1) були проведені дві серії дослідів. У першій вивчали процес промивання гравію з 10% грудкуватої глини з межею пружності на зсув 0,21 МПа струменями води під тиском 1,2 МПа. Графіки залежності питомих витрат енергії q від крупності шматків d для різного гранулометричного складу матеріалу приведені на рис. 3.8 [11]. Отримані дані свідчать, що із збільшенням крупності глини питомі витрати енергії зростають, причому більш різке зростання спостерігається під час промивання матеріалу, який містить шматки глини крупністю не менше (а то й більше) шматків гравію. Це говорить про доцільність сортування матеріалу перед промиванням на більш вузькі класи крупності.

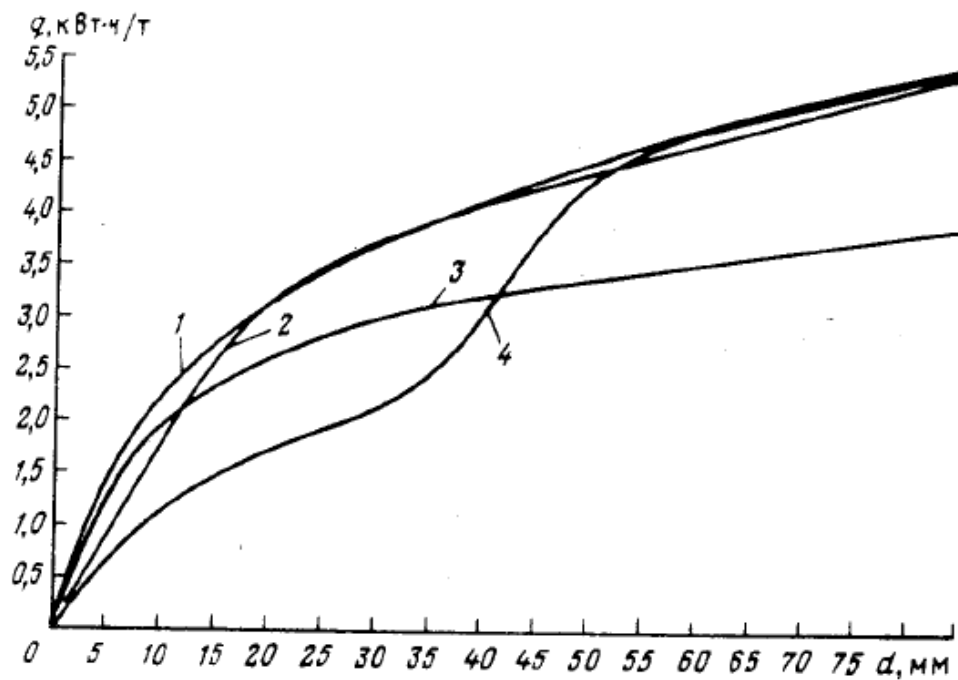


Рисунок 3.8 – Залежності питомих витрат енергії q від крупності d шматків глини під час промивання гравію крупністю 6-100, 6-10, 70-100 та 20-40 мм (відповідно криві 1-4)

У другій серії дослідів в аналогічних умовах промивали суміш гравію і глини однакової крупності, а для більш точного аналізу результатів визначали питомі

поверхні гравію досліджуваних класів крупності двома методами: для частинок крупністю менше 40 мм – методом фільтрації рідини через шар матеріалу, а для частинок крупніше 40 мм – оптичним методом. Результати дослідів показані на рис. 3.9 [11]. При малих тисках струменів, коли процес диспергування обумовлюється лише впливом сил тертя, питомі витрати енергії q зворотно пропорційні питомій поверхні матеріалу S . З підвищенням тиску струменів збільшується потужність потоку гідросуміші та зменшується час диспергування.

Під час промивання дрібних класів матеріалу питомі витрати енергії практично не залежать від тиску водяних струменів. Для крупних класів характерно зменшення питомих витрат енергії при підвищенні тиску води. Найефективнішим режимом є промивання під тиском 1,6 МПа; подальше підвищення тиску вже не призводить до економії енергії.

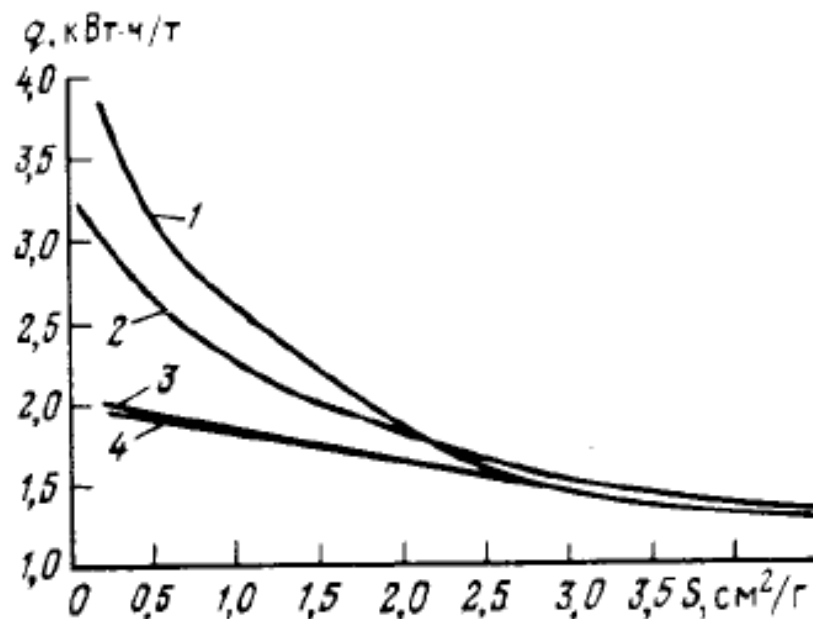


Рисунок 3.9 – Залежності питомих витрат енергії q від питомої поверхні матеріалу S при тиску водяних струменів 0,8; 1,2; 1,6 і 1,9 МПа (відповідно криві 1-4)

Для перевірки висновку про характер промивання при малих тисках води на стенді вібраційного промивання (див. рис. 3.3) обробляли гравій з 10% глини з межею пружності на зсув 0,165 МПа. Розмір шматків глини з метою усунення ефекту «бронювання» їх зернами каменю був вибраний менше максимального ро-

зміру зерен каменю. Результати дослідів підтвердили висновок про те, що робота, яка витрачається на диспергування, зворотно пропорційна питомій поверхні вихідних шматків глини або прямо пропорційна квадрату середнього розміру шматка глини (рис. 3.10) [11].

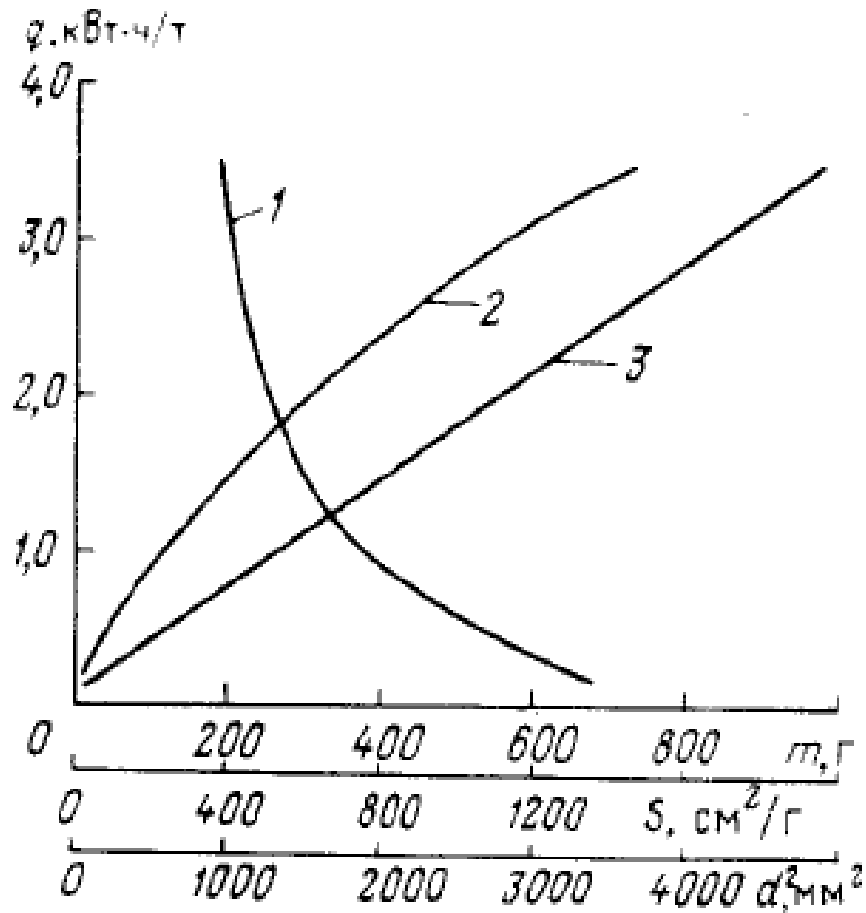


Рисунок 3.10 – Залежності питомих витрат енергії q від питомої поверхні S (1), маси m (2) та квадрату діаметра d^2 шматка глини (3)

Досвід практичного використання промивного механічного обладнання зокрема показує, що існує певна оптимальна крупність матеріалу, при якій його опірність перемішуванню робочими органами промивної машини буде мінімальною. Адже при перемішуванні дрібного матеріалу опірність обумовлюється підвищеним тертям між зернами внаслідок збільшеної питомої поверхні. А під час перемішування більш крупного матеріалу для переміщення кожного зерна з потрібною швидкістю необхідно прикладати більшу силу, що підвищує енергоємність процесу перемішування.

Опірність перемішуванню матеріалу в умовах струминного лабораторного стенду (див. рис. 3.1) визначали шляхом вимірювання часу від моменту подачі струменів води до моменту досягнення постійної окружної швидкості гідросуміші та виникаючих при цьому дотичних напружень на стінці промивної ванни. Досліди проводили у процесі промивання проб гравію постійної маси 14 кг для різних класів крупності при різних тисках водяних струменів. Графіки отриманих залежностей приведені на рис. 3.11 [11].

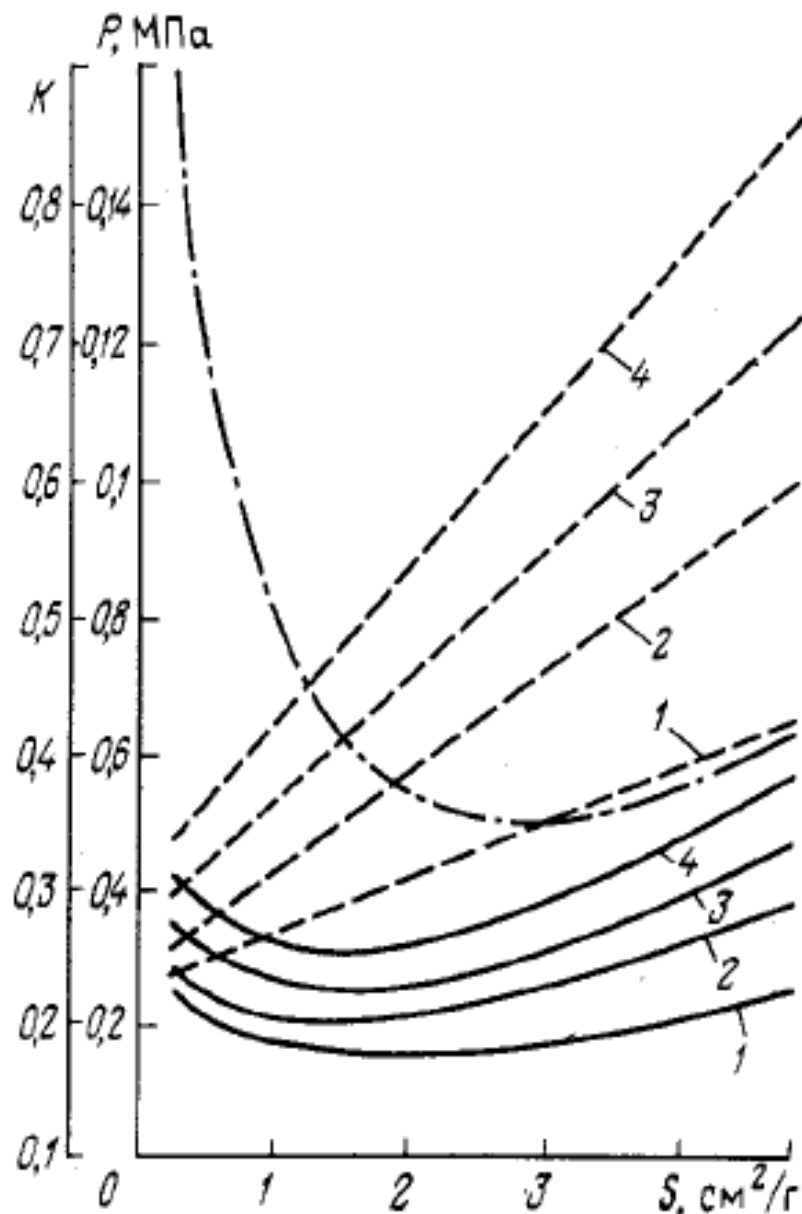


Рисунок 3.11 – Залежності коефіцієнту тертя K (штрих-пунктирна лінія), радіальних (штрихові лінії) та дотичних (суцільні лінії) напружень P від питомої поверхні S гравію при тиску водяних струменів 0,8, 1,2, 1,6 та 1,9 МПа (відповідно криві 1-4)

До найбільш важливих факторів, що впливають на процес промивання, відноситься *вміст глини у сировині*, від якого суттєво залежать ефективність та питомі витрати енергії. Для дослідження цього фактору також були поставлені дослідження як на струминному, так і на вібраційному стендах.

На вібраційній установці досліджували промивання суміші щебеню класу 20-70 мм і грудок глини діаметром 50 мм з межею пружності на зсув 0,167 МПа. На рис. 3.12 показана прямо пропорційна залежність питомих витрат енергії від вмісту глини у матеріалі (лінія 1). Чим більше глини у матеріалі, тим більше ймовірність зустрічі окремих її шматків на вібраційному робочому органі і злипання їх у більш крупні агрегати. Наявність таких агрегатів подовжує процес промивання.

Подібні дослідження на струминному стенді виконувалися із сумішшю гравію класу 20-40 мм з грудками глини крупністю 30 мм. Межа пружності глини на зсув складала 0,21 МПа, а тиск водяних струменів – 1,2 МПа. Тут картина дещо інша, ніж у попередньому випадку (рис. 3.12, лінія 2), адже завдяки розмиванню високо напірними струменями глина не злипається у крупні агрегати. Витрати енергії починають зростати при вмісті глини більше 10% (внаслідок недостатньої кількості дезінтегруючого середовища – каменів), а при вмісті більше 30% падають через зростання ймовірності потрапляння грудок глини безпосередньо під дію високо напірних струменів води.

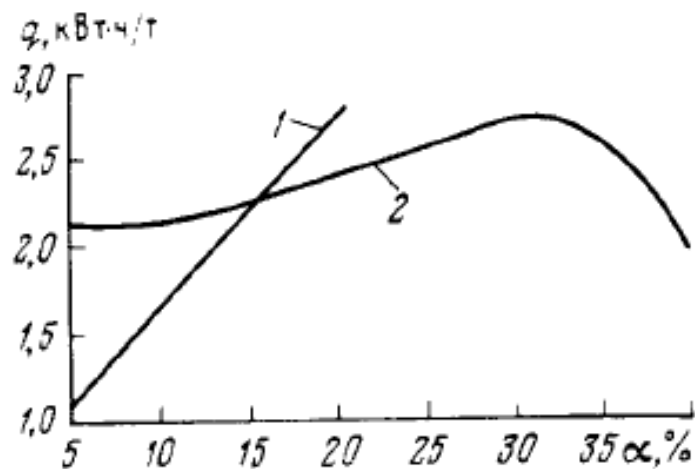


Рисунок 3.12 – Залежності питомих витрат енергії q від вмісту глини α за результатами вібраційного (1) та струминного (2) промивання

Нарешті, залишається згадати про такий фактор впливу на процес промивання, як *шорсткість поверхонь зерен матеріалу*. Оскільки цей процес заснований на стираючому впливі поверхонь шматків каменю, із збільшенням шорсткості, а, значить, і коефіцієнту тертя від має відбуватися швидше.

Утім, дослідження, проведені на стенді струминного промивання, показали, що змінення шорсткості і коефіцієнту тертя внаслідок різного вмісту глини у матеріалі більш-менш суттєвого впливу на процес промивання не має.

3.5 Оцінка величини енергетичних витрат на процес промивання

Для переведення глини у дисперсний стан потрібно виконати певну роботу. Однак на практиці реальна робота значно перевищує необхідну саме для безпосереднього диспергування глини. Багато непродуктивної енергії витрачається на взаємне тертя шматків, подолання сил інерції, нагрівання тощо. Тому для практичного використання теоретичних залежностей слід уводити до них поправочні емпіричні коефіцієнти.

Проаналізуємо енергоємність процесу промивання мінеральної сировини в обладнанні, що працює за принципом механічного руйнування глинистих включень. Оскільки глина відноситься до в'язкопружних тіл, то під час визначення енергоємності її руйнування потрібно враховувати час деформації, що суттєво ускладнює рішення задачі.

Практично усі класичні енергетичні теорії міцності, що розглядають процеси руйнування матеріалів, вважають, що робота, яка необхідна для цього, витрачається на утворення нової поверхні матеріалу та частково переходить у теплову енергію. Більшість дослідників проблеми диспергування глини сходяться на тому, що процес промивання відбувається в основному за рахунок дії дотичних напружень стискання, які створюють у тонких шарах поверхні глини гранично напружений стан.

Можна запропонувати достатньо універсальну формулу для оцінки величини необхідної для промивання роботи, в якій враховуються практично усі основні

фактори, що впливають на енергоємність процесу (за винятком деяких, наприклад температури води) [11]:

$$A_{\text{заг}} = K \frac{\tau^2}{2E_{\text{зс}}} \frac{M}{\rho} \frac{S_{\text{в}} - S_{\text{д}}}{S_{\text{д}}} \varepsilon, \quad (3.5)$$

де K – поправочний коефіцієнт; τ – межа пружності на зсув; $E_{\text{зс}}$ – модуль зсуву; M – загальна маса матеріалу, що промивається; ρ – густина матеріалу; $S_{\text{в}}$ і $S_{\text{д}}$ – питомі поверхні відповідно вихідних шматків та диспергованої глини; ε – вилучення диспергованої глини.

Звісно, кожен процес промивання на конкретній промивній машині відрізняється власною специфікою, яку потрібно враховувати за допомогою відповідних поправок.

На зерна матеріалу, що знаходиться у промивній ванні, діють робочі органи машини, сили взаємного тертя зерен матеріалу та сили тяжіння, що здавлюють зерна між собою. Якість процесу промивання (тобто вилучення глини) підвищується в результаті:

- зростання питомого тиску на зерна, який залежить від товщини шару матеріалу у промивній ванні машини;
- підвищення швидкості взаємного переміщення зерен, яка обумовлена інтенсивністю перемішування матеріалу;
- подовження часу промивання.

Висновки:

- для оцінки трудомісткості процесу промивання можна користуватися величиною енерговитрат, якої він потребує. Згідно з цим показником існує наступна система класифікації мінеральної сировини: легкопромивні гірничі породи, що замічені здебільшого піщаними глинами (зі значними домішками піску), середньопромивні – з в'язкими глинами, важкопромивні – з особливо в'язкими глинами, які важко піддаються руйнуванню;
- експериментальні дослідження, проведені на лабораторних стендах стру-

минного та вібраційного типів з метою оцінки придатності мінеральної сировини до промивання, продемонстрували характер впливу фізико-механічних властивостей глини на їх диспергувальну здатність та загальну ефективність процесу промивання матеріалу;

- до основних факторів, що впливають на процес промивання, слід віднести гранулометричний склад матеріалу, який промивається; вміст у ньому глини; шорсткість поверхні каменю; здатність глини до розмивання; підготовку матеріалу до розмивання (розмочування та підсушування); температуру та кількість промивної води;

- робота, яка необхідна для диспергування глини, витрачається на утворення нової поверхні глинистих частинок і залежить від межі пружності глини на зсув. Метод оцінки ступеня промивання за енерговитратами процесу представляється найбільш правильним з огляду на те, що максимально комплексно відображає властивості матеріалу, який піддається промиванню;

- якість процесу промивання підвищується в результаті зростання питомого тиску на зерна, який залежить від товщини шару матеріалу у промивній ванні машини; підвищення швидкості взаємного переміщення зерен, яка обумовлена інтенсивністю перемішування матеріалу; подовження часу промивання.

4 АНАЛІЗ ТА ОБРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОМИВНОГО ОБЛАДНАННЯ

4.1 Загальні зауваження

Промивання мінеральної сировини, засміченої глинистими домішками, – доволі трудомісткий процес, що складається з двох операцій, які здійснюються або послідовно у двох машинах, або паралельно в одній. Перша і найбільш складна операція – дезінтеграція глинистих включень, друга – відділення утвореної глинистої суспензії від корисних компонентів. Ступінь складності процесу промивання, як було з'ясовано вище, залежить від багатьох факторів: властивостей глини, крупності та вмісту її у матеріалі, температури та сольового складу промивної води, гранулометричного складу та форми зерен мінеральної сировини, яка піддається промиванню.

Промивне обладнання, основні принципові схеми якого були представлені на рис. 1.2 і 1.3, можна розділити на три групи:

- машини, в яких мінеральна сировина піддається механічному перемішуванню у водяному середовищі за допомогою тих чи інших робочих органів машини;
- машини і апарати, промивання в яких здійснюється за рахунок використання спеціальних способів впливу на мінеральну сировину, наприклад ультразвуку, високонапорних струменів води, електрогідравлічного ефекту тощо;
- установки самодиспергування мінеральної сировини (наприклад, промивні вежі).

Машини першої групи, у свою чергу, також можна розділити на три класи:

- установки з нерухомою ванною та робочими органами (лопатами, спіралями) на обертовому валу (валах). До таких конструкцій можна віднести горизонтальні і похилі коритні мийки, гвинтові мийки, спіральні класифікатори;
- установки з обертовою ванною (барабанні грохоти, бутари, скрубери);

- установки з вібруючою ванною (вібраційні грохоти та мийки).

Нижче будуть розглянуті деякі найбільш досконалі типи промивного обладнання з метою аналізу їх конструктивного виконання, особливостей розрахунку та обґрунтування раціональних експлуатаційних параметрів.

4.2 Промивне обладнання барабанного типу

Основною відмінністю промивного обладнання барабанного типу є наявність обертової промивної ванни. Такі машини відрізняються надзвичайною різноманітністю конструктивного виконання. До них відносяться різного роду бутари (або інакше – барабанні грохоти) з перфорованою робочою поверхнею та глухі барабани типу скруберів і скрубер-бутар (комбінацій скрубера і барабанного грохоту). У практиці світової гірничої і гірничо-хімічної галузі та промисловості будівельних матеріалів вони розповсюджені дуже широко – в основному на підприємствах для переробки руд чорних і кольорових металів, а також видобутку нерудних матеріалів [12].

Процес промивання мінеральної сировини у мийках барабанного типу відбувається за рахунок взаємного тертя шматків матеріалу між собою та тертя їх відносно стінок ванни, руйнування грудок глини спеціальними ножами (лопатами) на внутрішній поверхні ванни, а також ударів під час падіння крупних шматків каменю на шматки глини. Матеріал завантажується з одного боку барабану і просувається по ньому до протилежного за допомогою внутрішньої спіралі або похилих лопат у процесі безупинного зрошування водою. Остання може подаватися як в одному напрямку з рухом матеріалу (прямотечійний барабан), так і в протилежному (протитечійний барабан). Обертання барабанів здійснюється за допомогою фрикційних роликів, пневматичних шин або зубчастих передач. Від осевого зміщення їх утримують упорні ролики.

Барабанні мийки здатні промивати різні матеріали крупністю до 300 мм. У залежності від інтенсивності впливу на матеріал барабанні мийки можуть використовуватися для легко-, середньо- та важкопромивних матеріалів.

4.2.1 Конструктивні особливості барабанних мийок

До перших можна віднести найпростішу конструкцію барабанного грохоту з внутрішнім зрошенням матеріалу водою з бризкальних пристроїв, який у золотодобувній промисловості називають бутарою. У таких конструкціях промивання матеріалу часто суміщається з грохоченням.

Скрубери за рахунок використання спеціальної підпірної діафрагми забезпечують значно вищу якість промивання у порівнянні з бутарами.

Для промивання і сортування щебеню та гравію використовують гравіємийки-сортувалки з двома перфорованими барабанами 3 і 4, встановленими концентрично під кутом 6° у бік розвантаження (рис. 4.1) [11]. Внутрішній барабан 4 складається з трьох секцій. Перша по ходу матеріалу має горизонтальні полицки для кращої дезінтеграції матеріалу, друга центральна перфорована отворами діаметром 25 мм, а третя – отворами діаметром 50 мм. Середня секція охоплюється зовнішнім барабаном 3, перфорованим отворами діаметром 6 мм.

Матеріал завантажується у скрубєрну частину установки за допомогою нерухомого лотка, рухається далі по перфорованих секціях (протягом перших двох він піддається зрошенню бризкальними пристроями) і сортується на чотири класи крупності. У залежності від типорозміру машини, вона може забезпечувати продуктивність від 10 до 40 м³ матеріалу за годину.

Барабанна мийка «Ексцельсіор» швейцарської фірми «Брун» призначена для промивання матеріалів крупністю до 40 мм (рис. 4.2) [11]. Установка має два перфорованих барабани 4 і 7, встановлених на загальному валу 1 з транспортними каналами 2, 6 і 10, елеваторними колесами 3 і 9 та конічним ситом 11. На зовнішніх поверхнях барабанів передбачені транспортні спіралі 5 і 8. Барабани встановлені у ванні, розділеної перегородками на секції 12, 13 і 14.

Вихідний матеріал завантажують у секцію 14. Шлами (клас $-0,1$ мм) видаляються з ванни через зливний поріг, а решта продукту за допомогою патрубку равликового типу через канал 2 порожнистого валу 1 поступає у перфорований барабан 4 з отворами діаметром 8 мм. Матеріал розміром 0,1-8 мм потрапляє через перфорацію барабану у секцію 13, спіраллю 5 транспортується до елеваторного

колеса 3 і розвантажується з машини. Надрешітний продукт (8-40 мм) через канал 6 поступає у барабан 7 з отворами діаметром 16 мм. Далі підрешітний продукт (8-16 мм) транспортується спіраллю 8 до елеваторного колеса 9 і розвантажується з машини, а надрешітний (16-40 мм) через канал 10 потрапляє на конічне сито 11, де розділяється на два класи (16-25 і 25-40 мм).

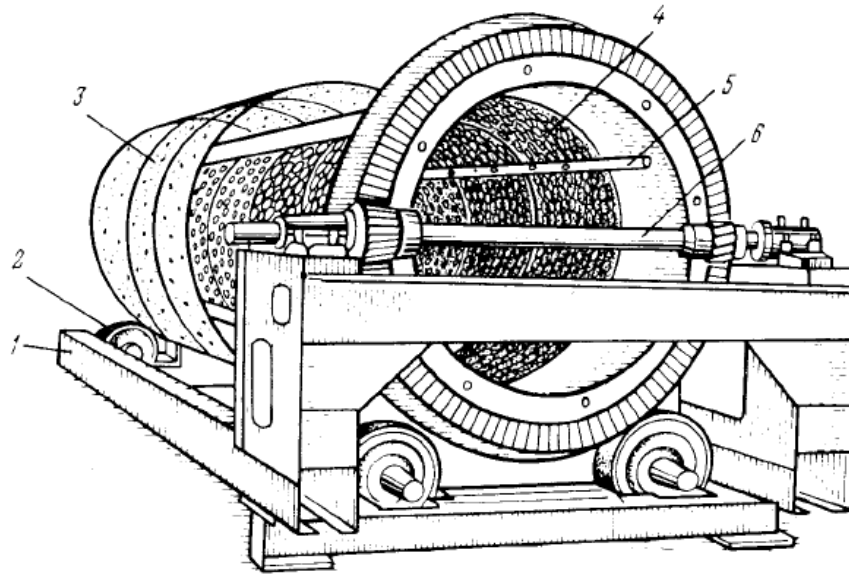


Рисунок 4.1 – Гравіємийка-сортувалка:

1 – рама; 2 – опорний ролик; 3, 4 – відповідно зовнішній та внутрішній перфоровані барабани; 5 – водовід; 6 – приводний вал

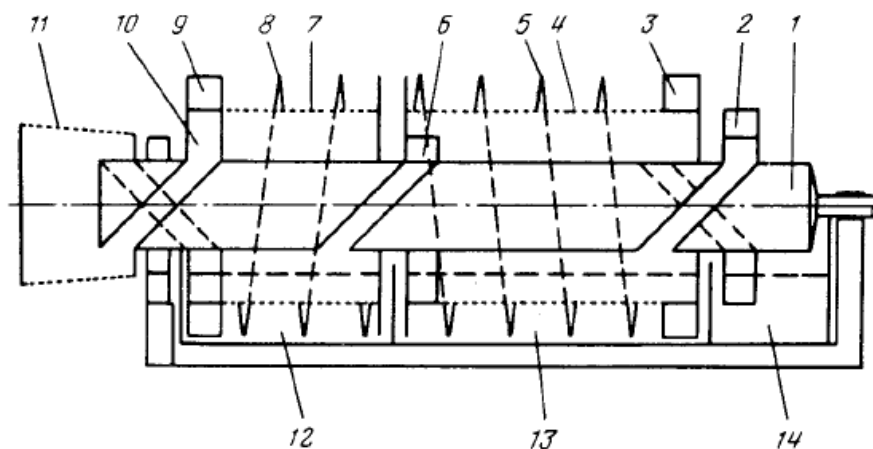


Рисунок 4.2 – Барабанна мийка «Ексцельсіор»:

1 – порожнистий вал; 2, 6, 10 – транспортні канали; 3, 9 – елеваторні колеса; 4, 7 – перфоровані барабани; 5, 8 – спіралі; 11 – конічне сито; 12, 13, 14 – секції ванни

З класу машини для переробки середньопромивних матеріалів можна відзначити установку ПБМ-1,2. Барабанна конструкція протитечійного типу з напівавтоматичним регулюванням частоти обертання барабану використовується для промивання руд і нерудних будівельних матеріалів, розморожування та прогрівання заповнювачів бетону, які мають до 20% глинистих включень крупністю до 70 мм. Машина може експлуатуватися як в автономному режимі, так і в складі пересувних дробильно-сортувальних установок.

Основним робочим органом машини (рис. 4.3) [11] є промивний барабан 2 із завантажувальним 5 та розвантажувальним 1 пристроями. Всередині барабану встановлена змінна спіраль для рівномірного завантаження та транспортування матеріалу. За допомогою плаваючих бандажів 4 і опорних котків 7 барабан змонтований на рамі 10, яка, у свою чергу, спирається на шарнірні 6 і гвинтові 11 опори, що дозволяють регулювати кут нахилу барабану до горизонту. Завантажувальний пристрій у формі усіченого конусу зі змінною спіраллю на внутрішній поверхні забезпечує подачу матеріалу у промивний барабан з одночасним його змочуванням. Розвантажувальний пристрій виконаний у вигляді черпакового елеватора з центральним збірним конусом. Його лопатки забезпечують спрямований рух пульпи, а сам він додатково виконує функцію ополіскувача матеріалу після промивання.

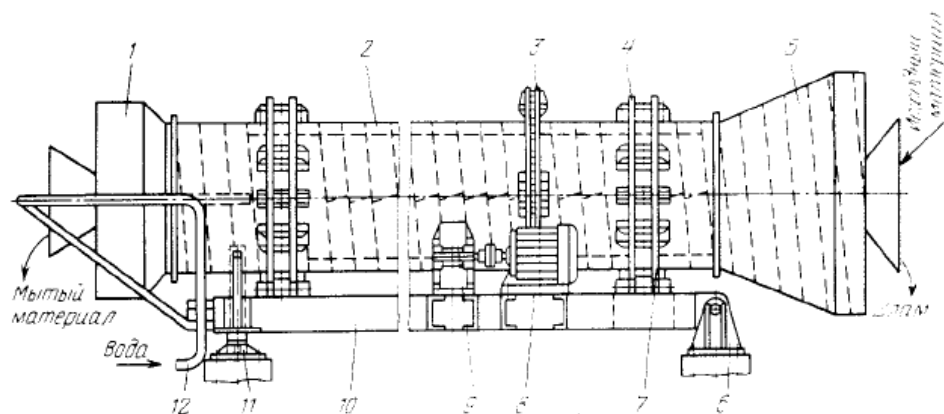


Рисунок 4.3 – Схема барабанної промивної машини ПБМ-1,2:

- 1, 5 – відповідно розвантажувальний та завантажувальний пристрої;
- 2 – промивний барабан; 3 – цівкова передача; 4 – плаваючі бандажі;
- 6, 11 – відповідно шарнірні та гвинтові опори; 7 – опорні котки;
- 8 – електродвигун; 9 – циліндричний редуктор; 10 – рама; 12 – водовід

Барабан обертається за допомогою приводу у складі електродвигуна 8, циліндричного редуктора 9, цівкової передачі 3 та приводного валу з ведучою зірочкою. Перетворювач струму забезпечує можливість плавного регулювання частоти обертання валу електродвигуна у межах від 18,3 до 25 об/хв.

Вода в машину подається з боку розвантаження по водоводу 12. Принцип дії машини заснований на поєднанні ефективного розмочування глинистих та мулових включень (у тому числі попереднього) з їх інтенсивним механічним стиранням. Установка забезпечує продуктивність промивання матеріалу до 70-80 т за годину.

Для роботи з важкопромивними матеріалами використовують потужні скрубери з горизонтально розташованими барабанами та примусовим розвантаженням за допомогою черпакового або равликового пристрою. Всередині барабану встановлюють регульований по висоті кільцевий поріг, завдяки якому у барабані підтримується постійний шар матеріалу, що згладжує нерівномірність живлення та забезпечує більш тривале перебування матеріалу у машині.

Внутрішню частину барабану зазвичай футерують зносостійкими плитами з транспортними лопатами для переміщення, перемішування, перетирання та збільшення часу перебування матеріалу у барабані.

Важкий скрубер німецької фірми «Еш-Верке» має барабан, що приводиться в обертання пневматичними колесами 9 та постачений внутрішньою регулювальною підпірною діафрагмою 4, яка розділяє його на відділення попереднього 1 та остаточного 6 промивання (рис. 4.4) [11]. Внутрішня поверхня барабану футерована плитами з лопатами 2 для дезінтеграції та транспортування матеріалу.

Машина працює за принципом протитечії. Попередньо дезінтегрований матеріал через підпірну діафрагму передається кільцевим перевантажувальним елеватором 5 у відділення остаточного промивання, де інтенсивно ополіскується водою. Потім він підхоплюється розвантажувальним елеватором 7 і передається у розвантажувальний лоток. Шлами зливаються у спеціальний шламосбірник 10.

Типорозмірний ряд скруберів фірми «Еш-Верке» забезпечує продуктивність промивання матеріалу крупністю до 200 мм у межах від 80-100 до 300 т/г.

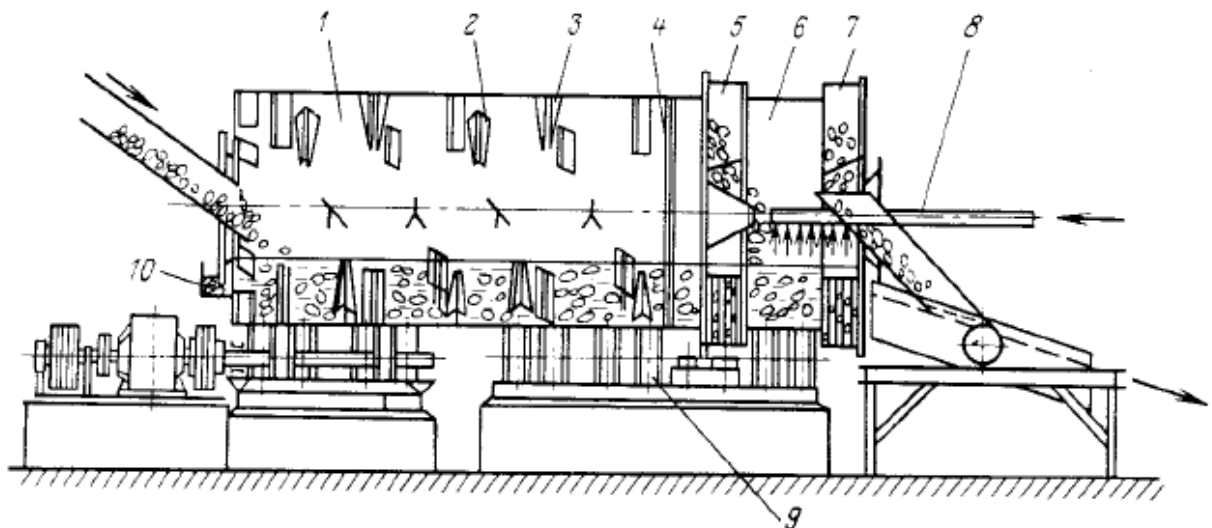


Рисунок 4.4 – Схема скрубера фірми «Еш-Верке»:

- 1, 6 – відділення відповідно попереднього та остаточного промивання;
 2 – транспортні лопати; 3 – ножі; 4 – діафрагма; 5, 7 – відповідно
 перевантажувальний та розвантажувальний елеватори; 8 – водовід;
 9 – пневмоколеса; 10 – шламозбірник

Комбінована промивна машина фірми «Паркер» (Велика Британія) відрізняється наявністю лопатевого валу 2, що проходить по осі обертання барабану 1 скрубера (рис. 4.5) [11]. Установка забезпечує більш ефективний процес розмивання глини у порівнянні зі звичайним скрубером за рахунок одночасного впливу на матеріал обертового барабану (частота обертання $10-20 \text{ хв.}^{-1}$) та лопатевого валу, який обертається у той же бік, що й барабан, але з трохи меншою частотою. Сировина для промивання подається у робочу зону барабану через його центральний конус за допомогою завантажувального пристрою 4 у вигляді елеваторного колеса.

4.2.2 Обґрунтування основних параметрів обладнання

Проведені дослідження впливу різних факторів на ефективність промивання мінеральної сировини, засміченої глинистими домішками, показали, що маса m глини, розмитої з однієї грудки, визначається часом промивання t , діаметром барабану D , розміром грудки глини d , швидкістю обертання барабану, відношенням твердої і рідкої фаз пульпи, ступенем заповнення барабану матеріалом, темпера-

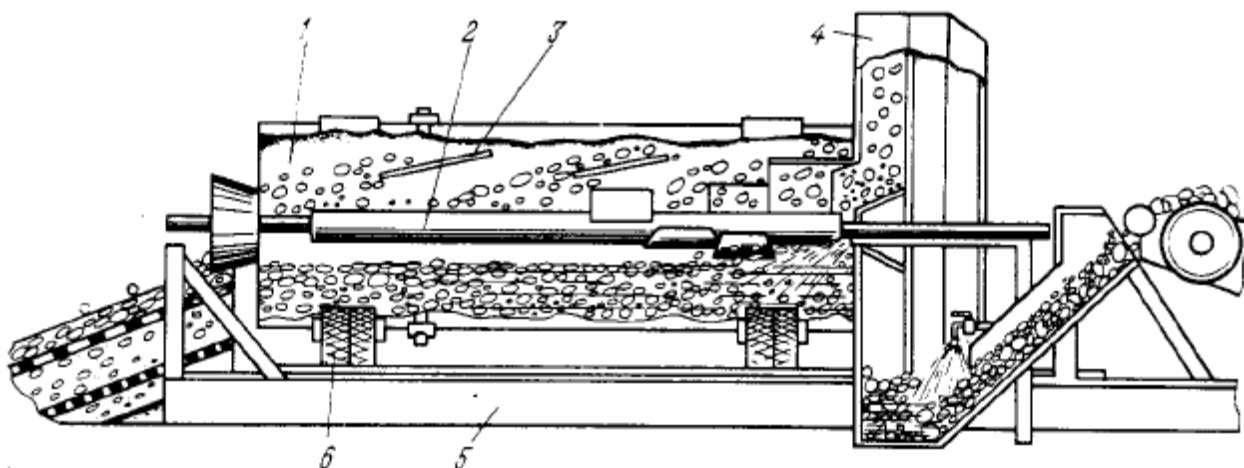


Рисунок 4.5 – Схема комбінованої промивної машини фірми «Паркер»:

1 - барабан; 2 – лопатевий вал; 3 – лопати;
4 – завантажувальний пристрій; 5 – рама; 6 – ролик

турою води та вологістю глини [11]:

$$m = (a + bt) \frac{0,43D + 58}{100} \frac{7,5d^2}{100} K_1 K_2 K_3 K_4 K_5, \quad (4.1)$$

де a і b – емпіричні коефіцієнти; K_1, K_2, K_3, K_4, K_5 – коефіцієнти, що враховують відповідно вплив заповнення барабану, швидкості його обертання, співвідношення твердої та рідкої фаз, температури води та вологості глини.

Для заданого значення величини d та заданого часу промивання t за цією формулою можна знайти потрібний діаметр барабану промивної машини.

Але більш зручніше здійснювати розрахунок обладнання за питомими втратами енергії, виходячи з фізико-механічних властивостей сировини та потрібного вилучення глини у злив.

Продуктивність Q (т/г) бутар та скрубєрів легкого типу з гладкою внутрішньою поверхнею і з прямотечій ним режимом роботи можна розраховувати за формулою, що використовується для барабанних грохотів [11]:

$$Q = 60n \tan 2\alpha \sqrt{R^2 h^3} \rho, \quad (4.2)$$

де n – частота обертання барабану, хв.⁻¹; α – кут нахилу барабана, град.; R – радіус

барабана, м; h – товщина шару матеріалу у барабані, м; ρ – насипна густина матеріалу т/м³.

Продуктивність Q (т/г) скрубєрів важкого типу з лопатами, що розташовані на внутрішній стінці барабану й утворюють переривчасту спіраль:

$$Q = 15\pi(D_3^2 - D_n^2)Sn\psi K_n\rho, \quad (4.3)$$

де D_3 – зовнішній діаметр барабану, м; D_n – діаметр окружності, що описується лопатами, м; S – крок спіралі, м; ρ – насипна густина матеріалу т/м³; K_n – коефіцієнт повернення, обумовлений переривчастою конструкцією спіралі та розташованими радіально та зі зворотним кутом нахилу лопатами; ψ – коефіцієнт заповнення поперечного перетину барабану, що залежить від кільцевої підпірної діафрагми (коефіцієнти K_n і ψ визначаються для кожної конкретної конструкції машини індивідуально).

Тривалість промивання матеріалу t (с):

$$t = \frac{3600G}{Q}, \quad (4.4)$$

де G – маса матеріалу у барабані, т; Q – продуктивність, т/г.

Потужність N (кВт) бутар та скрубєрів легкого типу:

$$N = \frac{Rn(G_0 + 9,5G)}{3220}, \quad (4.5)$$

де R – внутрішній радіус барабану, м; n – частота обертання барабану, хв.⁻¹; G_0 і G – вага відповідно барабану та матеріалу, Н.

Потужність N (кВт) скрубєрів важкого типу:

$$N = \frac{c\rho z\omega^3(R_3 - R_6)S_3}{800} + R_6S_6(1 - S_3)^2F_L \sin \alpha, \quad (4.6)$$

де c – коефіцієнт опору середовища; ρ – густина завантажуваного матеріалу; z – число лопат; ω – кутова швидкість барабану; R_3 і R_6 – радіуси відповідно зовнішньої та внутрішньої частин лопати; S_3 і S_6 – ковзання відповідно зовнішнього та

внутрішнього шарів матеріалу; F_l – площа лопати; α – кут нахилу лопати.

З багатьох факторів, що впливають на показники процесу промивання, далеко не усі можна регулювати у реальних виробничих умовах. Наприклад, підігрів води та використання хімічних реагентів пов'язані з істотним подорожчанням процесу, а гранулометричний склад вихідної сировини, як правило, залежить від конкретних умов ведення гірничих робіт. Реальні важелі впливу на процес промивання – регулювання дезінтегруючих впливів на матеріал робочих органів промивного обладнання, змінення водяного режиму промивання та попереднє замочування сировини.

Для барабанів з гладкою внутрішньою поверхнею межі регулювання впливу робочих органів дуже невеликі, а у важких конструкціях хороші результати може дати установка підпірних кільцевих діафрагм для створення шару матеріалу, що підвищує ефективність розмивання глини.

Рациональні величини витрат води у будь-якому випадку підбираються дослідним шляхом у залежності від вмісту глини у вихідному матеріалі. Для скрубєрів вони зазвичай знаходяться у межах від 1 до 3 м³/т.

Попереднє замочування матеріалу для зниження міцності глини рекомендується робити у завантажувальних лотках промивних машин або у бункерах вихідної сировини.

4.3 Коритні промивні машини

Мийки коритного типу використовуються здебільшого для промивання дрібних класів матеріалів. Такі установки мають нерухому похилу (у більшості випадків) або горизонтальну ванну прямокутного чи овального перетину з одним або двома валами з дезінтегруючими пристроями (наприклад, лопатами), які виконані у формі переривчастої чи безперервної спіралі. Лопатеві вали обертаються назустріч один іншому і переміщують матеріал до центру ванни, одночасно транспортуючи його уздовж неї. Принцип дії коритної мийки протитечійний – вода подається назустріч транспортованому матеріалу. Відмиті шлами видаляються з

ванни через бічні кармани або зливний поріг з боку завантаження.

Хоча за паспортними даними коритні мийки усіх типів призначаються для промивання матеріалів крупністю до 100 мм, фактично вони придатні для роботи лише з дрібним матеріалом через неможливість ефективного розмивання шматків важкопромивних глин крупністю більше 20 мм та середньопромивних глин крупністю більше 40 мм.

4.3.1 Конструкції коритних мийок

Схема похилої коритної мийки показана на рис. 4.6 [11].

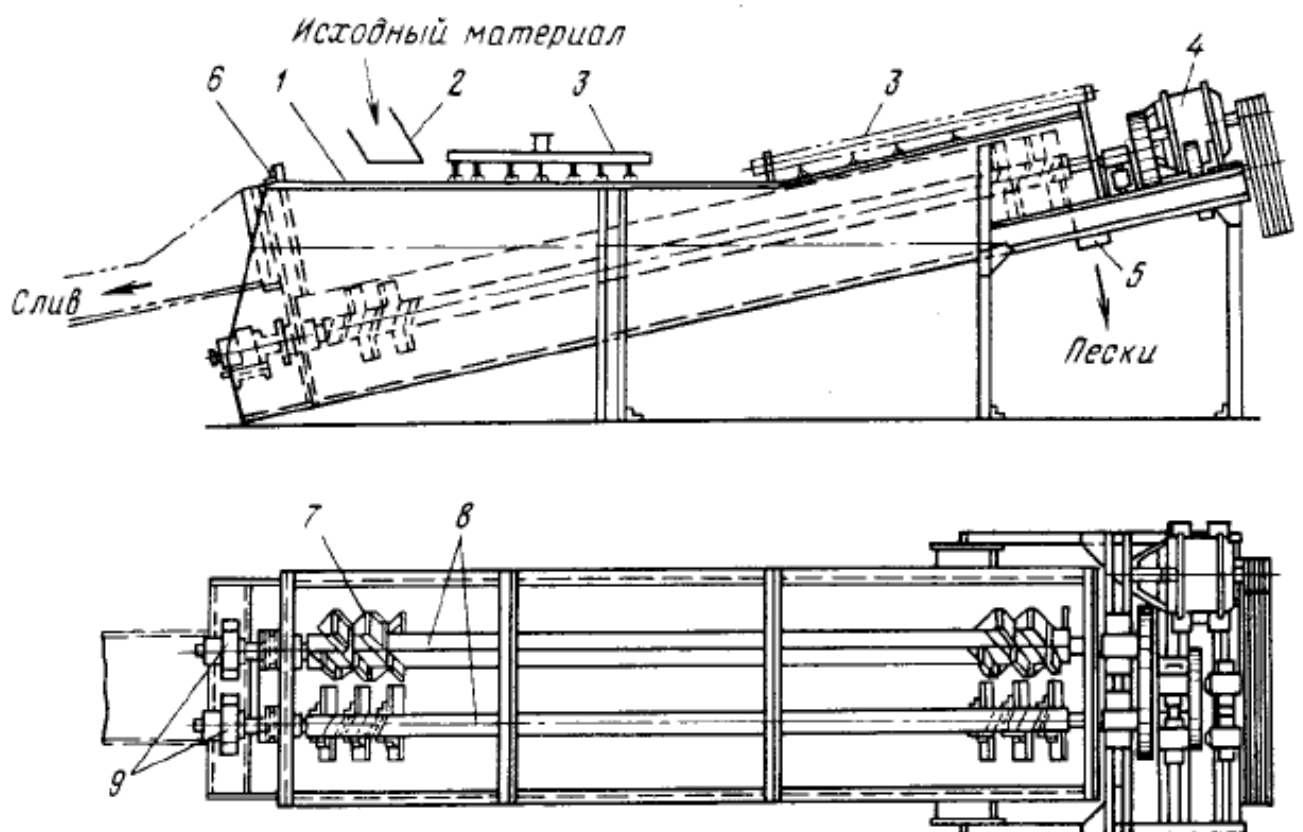


Рисунок 4.6 – Схема похилої коритної мийки:

- 1 – ванна; 2, 5 – відповідно завантажувальний та розвантажувальний лотки;
3 – водовід з брызкальними пристроями; 4 – привод; 6 – зливний поріг;
7 – лопати; 8 – лопатеві вали; 9 – нижні підшипники

Основним параметром таких конструкцій є діаметр окружності, що описується кінцями лопат 7 або спіралі. Вали 8 приводяться в обертання від загального

приводу 4 через клинопасову та зубчасту передачі, що знаходяться у верхній частині ванни 1. Нижні кінці валів спираються на підшипникові вузли 9, розташовані нижче рівня пульпи, показаного на рисунку горизонтальною штрих-пунктирною лінією. Це найбільш відповідальні конструктивні елементи установки, тривалість роботи яких залежить як від досконалості їх системи ущільнення (в основному використовують водяні ущільнення з водою під тиском), так і від правильної експлуатації машини.

Матеріал завантажують через лоток 2 у нижню частину ванни, звідки він ва-лами з лопатами переміщується до верхнього розвантажувального лотка 5, яке знаходиться вище рівня пульпи, що сприяє зневодненню відмитого від глини матеріалу. Вода подається у ванну частково з матеріалом, а частково – через водовід 3 з бризкальними пристроями над ванною. Розмиті глинисті домішки видаляються у нижньому кінці ванни через зливний поріг 6, висоту якого можна регулювати.

Класичними представниками конструктивного типу похилих коритних мийок є одно- і двоспиральні класифікатори, які широко використовуються у гірничозбагачувальній промисловості для згущення та знешламлювання пісків після подрібнення руд у млинах. На рис. 4.7 показані принципова схема та схема роботи такої машини [11]. Класифікатор встановлюється під кутом нахилу до горизонту, завдяки чому більша частина поверхні спіралі знаходиться над рівнем пульпи і матеріал зневоднюється до вмісту води 18-25%. Такі установки випускають з незануреною та зануреною спіраллю для отримання зливу крупністю відповідно більше і менше 0,15 мм.

У горизонтальних коритних мийок робочі лопати на відміну від лопат похилих мийок виконані у вигляді ножів (шабель), розташованих по спіралі. Матеріал завантажують на початку ванни і в процесі переміщення по днищу ванни ноже-подібними лопатами перетирається їх кінцями і звільнюється від глинистих включень. Промитий продукт розвантажують роторним елеватором з перфорованими ківшами, а шлами видаляються через зливний поріг, розташований біля місця завантаження. На рис. 4.8 для прикладу показана конструкція шабельної мийки TZ

німецької фірми «Гільбер» [11].

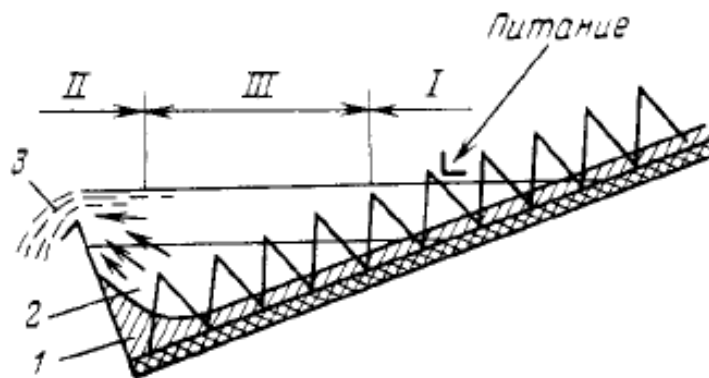
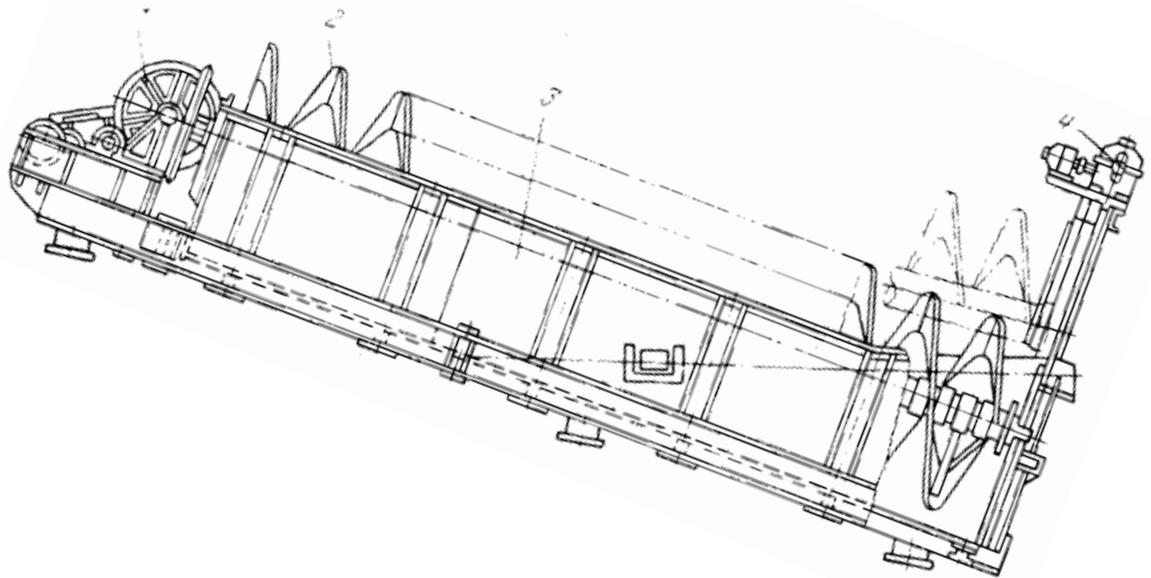


Рисунок 4.7 – Спіральний класифікатор:

a – принципова схема (1 – привод; 2 – спіралі; 3 – ванна; 4 – механізм підйому спіралі); *б* – схема роботи (1 – піски; 2 – зважена розшарована суміш; 3 – злив)

До машин горизонтального типу можна віднести також шнекові сепаратори, що використовуються для збагачення вугілля шляхом відділення від нього глинистих домішок, диспергованих на грохотах. Горизонтальний шнековий сепаратор (рис. 4.9) [11] складається з корпусу 4, шнека 5, рами 9 та приводу 1. У верхній

частині корпусу встановлені завантажувальна лійка 6 і тангенціально розташовані розвантажувальна вугільна лійка 3 та патрубок для підводу води, а в нижній частині – породна розвантажувальна лійка 8.

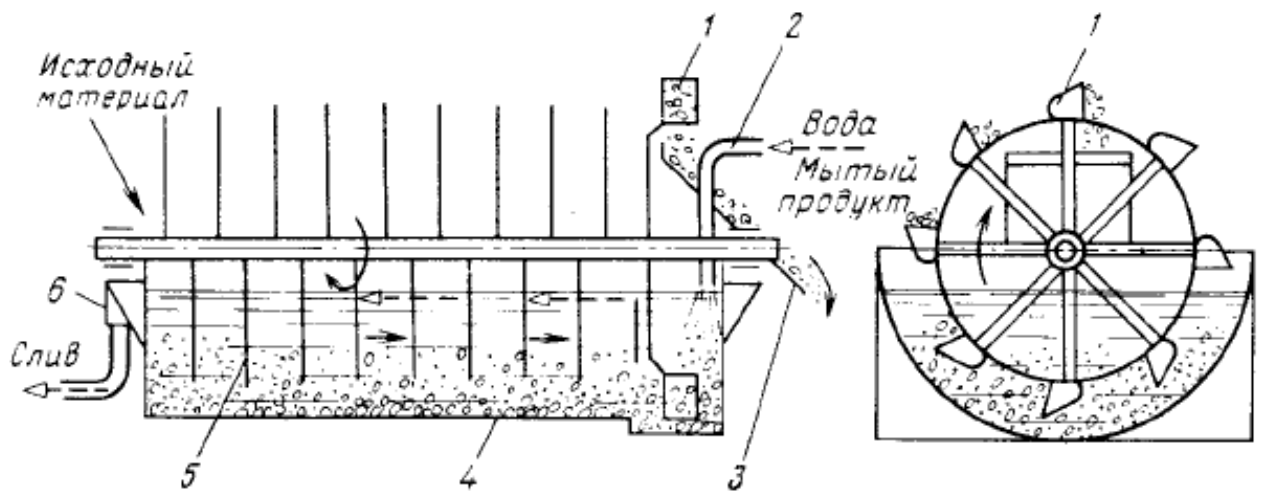


Рисунок 4.8 – Шабельна мийка TZ німецької фірми «Гільбер»:
1 – елеваторне колесо; 2 – водовід; 3 – розвантажувальний лоток;
4 – промивна ванна; 5 – шаблі; 6 – зливний поріг

Шнек, виконаний у вигляді однозахідного гвинта, складається з трубчастого валу 7, спіралі 5 та двох шийок валу, встановлених в опорних підшипниках. Вал муфтою 2 сполучений з приводом.

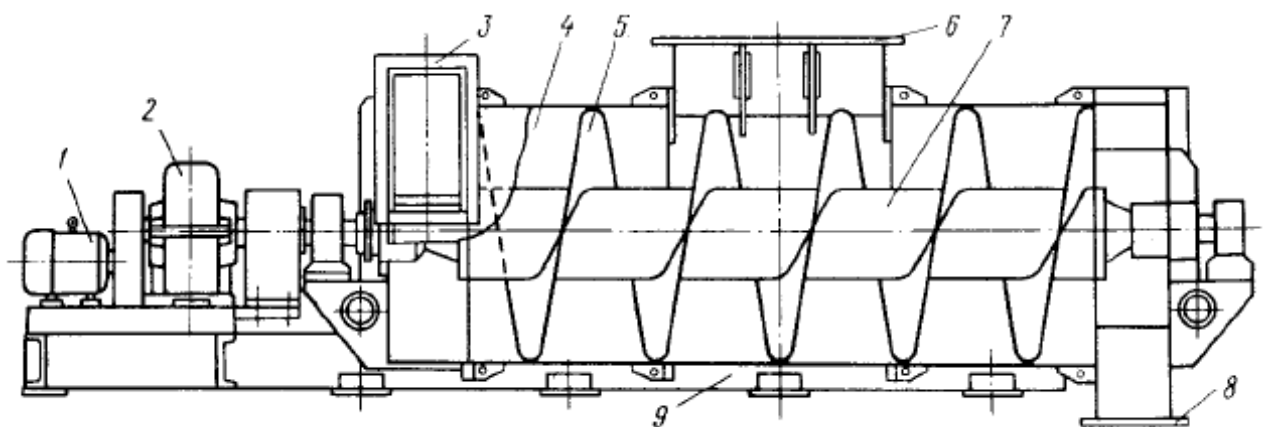


Рисунок 4.9 – Горизонтальний шнековий сепаратор:
1 – привод; 2 – муфта; 3, 6, 8 – відповідно розвантажувальна вугільна,
завантажувальна та розвантажувальна породна лійки; 4 – корпус;
5 – шнек; 7 – трубчастий вал; 9 – рама

Сепаратор працює наступним чином. Вода до нього подається через тангенціальний патрубок, рухається по гвинтовому каналу, утвореному внутрішньою стінкою корпусу і шнеком, який обертається у напрямку руху водяного потоку. Матеріал поступає через завантажувальну лійку у середину робочої зони сепаратора. Тут на ділянці каналу в 1-1,5 витка формуються два транспортні потоки: найбільш крупні і важкі частинки осідають на внутрішню стінку корпусу і переміщуються шнеком до розвантажувальної вугільної лійки, а легкі частинки вугілля разом з глинистими та муловими шламами захоплюються водяним потоком і рухаються у протилежному напрямку до розвантажувальної породної лійки. Тиск води у сепараторі має бути не менше 0,4 МПа.

4.3.2 Вибір раціональних параметрів установок

У більшості випадків робочі параметри коритних мийок розраховують, спираючись на практичні дані. Наприклад, між тривалістю процесу промивання t (с) та параметрами машини існує наступна емпірична залежність [11]:

$$t = \frac{LK_c}{SnK_n}, \quad (4.7)$$

де L – довжина ванни машини, м; $K_c = 0,8$ – коефіцієнт, що враховує скорочення довжини промивної ділянки ванни, пов'язане із завантаженням та розвантаженням матеріалу; S – крок розташування лопат спіралі, м; n – частота обертання валу, хв.⁻¹; $K_n = 0,4-0,6$ – коефіцієнт повернення, що характеризує ступінь проковзування матеріалу між лопатами.

Потужність N (кВт), необхідна для промивання матеріалу у похилих коритних мийках:

$$N = (5\tau + 30\tau^2)(\alpha - \beta)sQ \cdot 10^{-4}, \quad (4.8)$$

де τ – межа пружності на зсув, МПа; α і β – вміст глини відповідно у вихідному та митому продуктах, %; s – питома поверхня матеріалу, м²/т; Q – продуктивність машини, т/г.

Емпірична залежність потужності, що витрачається на перемішування та

транспортування матеріалу:

$$N = 38,21 \log(10^{-6} Q^2 s + 1). \quad (4.9)$$

Для забезпечення потрібної якості промивання необхідно, щоби потужність, розрахована за формулою (4.8) була б рівною або меншою потужності, розрахованої за формулою (4.9). Для полегшення пуску машини під навантаженням бажано вибирати електродвигун, потужність якого в 1,5 рази перевищує розрахункову.

Продуктивність Q (т/г) коритної мийки зі шнековим транспортування матеріалу з урахуванням розривності спіралі:

$$Q = 15z\psi\pi D^2 S n K_n \rho, \quad (4.10)$$

де z – число лопатевих валів; $\psi = 0,1-0,18$ – коефіцієнт заповнення ванни; D – діаметр окружності, описаної лопатами, м; S – крок спіралі, м; n – частота обертання лопатевого валу, хв.⁻¹; $K_n = 0,4-0,6$ – коефіцієнт повертання; ρ – густина матеріалу, т/м³.

Розрахунок продуктивності та потужності приводу спіральних класифікаторів здійснюють за аналогічними формулами. Проте, з огляду на основне призначення класифікаторів (класифікацію та знешламлювання матеріалів), для їх розрахунку може бути застосована більш досконала методика. Згідно з нею, робочий простір всередині класифікатора умовно розбивають на три зони (див. рис. 4.7б). Зона I поблизу від місця завантаження характеризується інтенсивним перемішуванням пульпи, завдяки чому частинки матеріалу рівномірно розподіляються як по ширині, так і по висоті ванни. У зоні II біля зливного порогу спостерігаються значні висхідні потоки, що виносять частинки у злив. Зона III посередині ванни відрізняється помірним режимом перемішування пульпи, а саме від цього залежить гранична крупність класифікації. Тривалість перебування матеріалу у цій зоні визначається експериментально.

Основним технічним параметром спіральних класифікаторів є продуктивність по пісках Q (т/г), що розраховується за формулою:

$$Q = 15t\psi\pi D^2 S n\rho, \quad (4.11)$$

де t – число спіралей.

Об'ємна продуктивність Q_3 (м³/с) по зливу:

$$Q_3 = qB, \quad (4.12)$$

де B – довжина зливного порогу, м; q – питома об'ємна продуктивність по зливу (віднесена до одиниці ширини зливного патрубку), м³/с·м (для граничної крупності зерна 0,15 мм – $q = 0,015-0,035$ м³/с·м).

Ефективність процесу промивання у машинах коритного типу (як, власне, і в інших типах промивного обладнання) визначається головним чином інтенсивністю процесу диспергування глини, яка, у свою чергу, залежить від довжини і кута нахилу ванни, частоти обертання валів, відстані між лопатами та кута їх нахилу. З усіх перерахованих факторів у виробничих умовах регулюють лише частоту обертання лопатевих валів та кут установки лопат. Ці два параметри взаємопов'язані: кут нахилу лопат впливає на швидкість транспортування матеріалу, а, значить, і на тривалість промивання. Максимальна продуктивність досягається при куті нахилу 45°, але час промивання при цьому стає мінімальним. Тому на практиці приймають кут нахилу 65°.

Кут нахилу ванни коритних мийок знаходить у межах 7-12°, а витрати води – від 2 до 4 м³/т (у залежності від характеристик матеріалу, що піддається промиванню).

4.4 Апарати струминного промивання

Технологія промивання матеріалів спрямованими струменями води широко використовується у практиці збагачення мінеральної сировини. Вода під тиском сприяє підвищенню ефективності процесу диспергування глинистих та інших включень. Але для глини величини тиску води мають бути достатньо високими – у межах від 1,2 до 2,5 МПа. Крім інтенсивного перемішування матеріалу, високонапірні струмені води розрізають крупні шматки глини на більш дрібні. А якщо

згадати, що питомі витрати енергії на процес промивання матеріалів, заснований на взаємному перетиранні шматків, пропорційні квадрату діаметра шматка, то стає зрозумілим, що попереднє розрізання шматків глини дає можливість різкого скорочення енергоємності наступних стадій промивання.

Енергія водяного струменя долає сили зчеплення між частинками глини за рахунок того, що на поверхні матеріалу виникають нормальні та дотичні напруження, які при перевищенні межі міцності на стискання викликають його руйнування. Крім того, у струмені води обов'язково присутні бульбашки повітря, тиск в яких при зіткненні зі шматком різко підвищується, виникає явище кавітації, яке також прискорює його руйнування.

Механізм руйнування шматка матеріалу високо напірним струменем води виглядає наступним чином. У перший момент відбувається удар, а потім струмінь натікає на поверхню матеріалу, в результаті чого в ньому виникають напруження, після чого струмінь упроваджується в матеріал. Руйнування шматка починається не відразу, а через певний час, необхідний для формування ефективної зони руйнування. Глибина упровадження залежить від конструкції сопла, тиску та швидкості струменя води.

Для дослідження процесу різання глини струменями води використовували спеціальний лабораторний стенд з рухомим соплом 3, схема якого приведена на рис. 4.10а [11]. Сопло (рис. 4.10б) мало змінні насадки 4 з діаметрами 2, 4, 6 і 8 мм. В табл. 4.1 приведені результати утворення щілин у шматках руди під час їх різання водяними струменями.

Таблиця 4.1 – Результати дослідів на стенді, що показаний на рис. 4.10

Діаметр насадки, мм	2	4	6	8
Глибина утвореної щілини (мм) при тиску струменя, МПа:				
0,8	9	33	62	99
1,2	17	41	82	139
1,6	21	58	103	178
2.0	28	80	140	230

Чим більше діаметр насадки, тим ефективніше протікає процес різання шматків глини, але при цьому значно зростає витрата води, тому оптимальним діаметром вважається 5-6 мм.

Аналіз взаємодії гідромоніторного струменя з перешкодою показує, що останній в силу своєї пружності після удару відбивається і більша частина його енергії не витрачається на розмивання матеріалу [14]. Знизити пружність струменя можна введенням в нього бульбашок повітря. Такий водоповітряний струмінь практично не відбивається від перешкоди, а розтікається, обходячи крупні зерна і збільшуючи глибину проникнення та радіус дії. Хоча повітря у процесі подачі води у сопло й потрапляє у струмінь природним чином, контролювати таку аерацію неможливо, тому потрібно створювати водоповітряну суміш у спеціальних пристроях. Досліди показують, що найбільш ефективно глини розмиваються струменем з відносним об'ємним вмістом газу, який дорівнює 0,9. З конструктивної точки зору представляється доцільним використовувати промивну установку, в якій водоповітряна суміш створюється ежекторною насадкою. Така конструкція забезпечує високу ефективність розмивання глини при зменшенні витрат води в 1,5-2 рази у порівнянні із суцільним гідромоніторним струменем.

Простішим пристроєм струминного промивання мінеральної сировини є гідромонітор (вашгерд), який забезпечує диспергування глини лише за рахунок енергії струменя води. На відміну від нього, в інших струминних промивних машинах напрямок струменів вибирається таким, щоби у промивній ванні забезпечувався обертовий потік, який захоплює за собою матеріал і сприяє інтенсивному стиранню глинистих включень. З конструктивної точки зору така установка гранично проста: це навіть не машина, а апарат – нерухома циліндрична ванна без будь-якого приводу та інших складних вузлів.

На рис. 4.11 показана схема такої установки, що складається з камери різання 1 та трубчастої промивної ванни 2 [11]. Із зовнішнього боку остання охоплюється герметичним кожухом, розділеним у поперечному перетині на шість секцій 3 з пристроями для подачі води. Кожна секція має п'ять сопел 4, які спрямовують струмені води під кутом 40° до радіуса поперечного перетину ванни. Нахил каме-

ри різання та промивної ванни регулюється за допомогою домкратів. Установка розрахована на промивання гірничої маси з розмірами шматків до 250 мм.

Найскладнішою деталлю машини є сопло. На стенді струминного промивання (див. рис. 3.1) були проведені порівняльні дослідження сопел з кутами конусності 13,45 і 60°. Згідно з отриманими даними, оптимальним слід вважати кут 13° – він забезпечує на 25-30% менший час промивання матеріалу. Кут нахилу сопла до радіусу поперечного перетину ванни суттєвого впливу на ефективність процесу промивання не має, але для зручності монтажу і обслуговування промивної ванни оптимальним кутом нахилу є 45°.

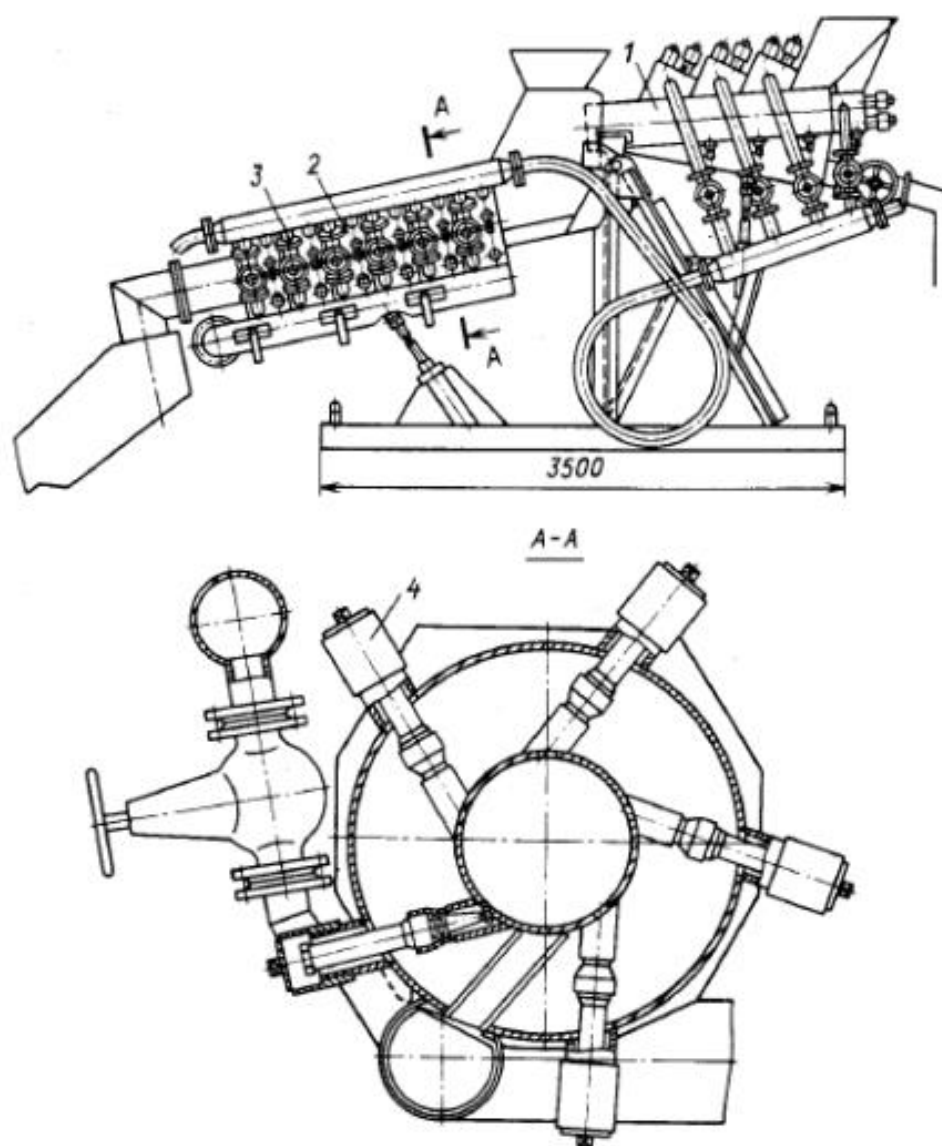


Рисунок 4.11 – Установка для струминного промивання мінеральної сировини:
1 – камера різання; 2 – промивна ванна; 3 – секції; 4 – сопла

Зате інтенсивність перемішування матеріалу у ванні у значному ступені залежить від місць розташування сопел. На тому ж стенді струминного промивання проводилися досліди з послідовним вимиканням сопел у порядку їх нумерації, в результаті чого було з'ясовано, що визначальний вплив на ефективність промивання роблять струмені води з нижніх сопел, які піднімають матеріал (рис. 4.12) [11].

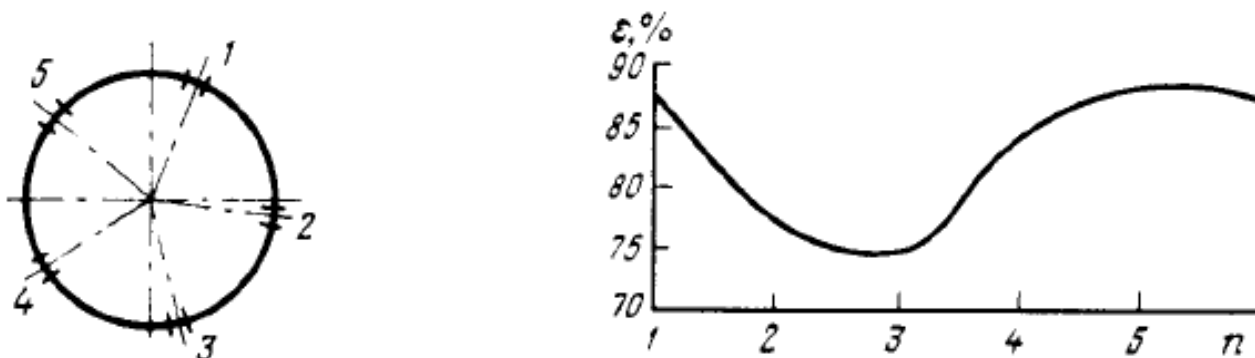


Рисунок 4.12 – Вибір раціонального розташування сопел у промивній ванні: *а* – схема розташування сопел у ванні; *б* – залежність вилучення ϵ глини у злив від порядкового номера n відключеного сопла

До струминного промивного обладнання також відносяться гідроциклони, в яких класифікація та згущення матеріалу відбувається під впливом відцентрових сил (такі конструкції широко розповсюджені у технологічних схемах збагачення, зокрема для знешамлювання різноманітної мінеральної сировини, у тому числі залізних руд), а також промивні вежі, де використовується принцип самодиспергування глини у відносно спокійній водоповітряній суміші.

4.5 Спеціальні способи руйнування та відділення глинистих домішок

Разом з іншими вже розглянутими методами руйнування глини у водному середовищі обов'язково слід згадати метод промивання з використанням вібраційних ефектів. Цей метод з'явився порівняно недавно, після того, як усередині минулого століття виникла і почала бурхливо розвиватися наука про дослідження та використання практично в усіх галузях економіки вібраційних технологій та вібраційної техніки. За останні десятиліття вібраційні технології забезпечили рево-

люційних розвиток численних технологічних процесів, пов'язаних з різними аспектами обробки дисперсних середовищ, у тому числі в гірничій галузі. До них відносяться операції транспортування різноманітних штучних та масових вантажів; випуск матеріалів з різного роду ємностей; ущільнення, розпушення, перемішування, сушіння, зневоднення сипких речовин та сумішей; дроблення, подрібнення та грохочення гірничої маси та багато інших. В їх числі й промивання мінеральної сировини [13].

Принцип дії вібраційних промивних машин заснований на інтенсифікації процесу перемішування і взаємного тертя частинок гірничої маси на робочих органах такого обладнання під дією вібраційних коливань певної частоти і певної амплітуди, завдяки чому вдається значно прискорити відділення глинистих фракцій, що засмічують мінеральну сировину, у порівнянні з традиційними машинами механічного перемішування.

З інших способів руйнування глинистих включень потрібно відмітити групу гідравлічних методів, а саме:

- за допомогою електроіскрового розряду у рідині (електрогідравлічний ефект). Цей спосіб добре зарекомендував себе для дроблення гірничих порід завдяки можливості селективного руйнування мінералів, тому було логічно припустити, що він дозволить ефективно диспергувати й глинисті включення. Проведені у цьому напрямку теоретичні та експериментальні дослідження показали, що електроіскровий розряд у рідині викликає швидкий (вибуховий) перехід сконцентрованої у накопичувачі електричної енергії у теплову, світлову та механічну, що забезпечує не лише руйнування грудкової глини та глини, що знаходиться на поверхні мінеральної сировини, але й очищає від неї поглиблення і тріщини у камені. Глина диспергується внаслідок розривання її на частини «вибухом», а також взаємного тертя поверхонь шматків за рахунок інтенсифікації процесу перемішування матеріалу під дією імпульсів;

- за допомогою ультразвуку, інших акустичних коливань та гідравлічного удару. Ультразвуковий вплив на матеріали, у тому числі на глину, порушує їх

структуру, розриває зв'язки і тим самим знижує міцність. Але ефективно диспергувати глину можливо лише тоді, коли вона представлена дрібними включеннями.

Можна промивати матеріали комбінованим способом з одночасним використанням звичайних низькочастотних та ультразвукових коливань. Поки що широкому впровадженню ультразвукового методу промивання мінеральної сировини перешкоджає відсутність потужної ультразвукової апаратури.

Хороші перспективи мають акустичні промивні машини, принцип дії яких полягає у збудженні низькочастотних акустичних коливань у пульпі, що знаходиться у замкненому просторі робочої камери машини циліндричного, U-подібного або прямокутного перетину. Пульпа при цьому переходить у віброкиплячий стан, при якому створюються умови для інтенсивного диспергування глинистих домішок.

Існує також метод підвищення ефективності процесу промивання завдяки використанню сумісного впливу на матеріал ударних хвиль та низькочастотних коливань. Ударні хвилі можуть виникати за рахунок перетворення кінетичної енергії коливної рідини шляхом миттєвого гальмування оброблюваного середовища у момент максимальної коливної швидкості, тобто на кожному на півперіоді низькочастотного впливу. При цьому у робочому середовищі виникають імпульси високого тиску з крутими фронтами наростання і спаду [14,15];

- з використанням фізико-хімічних методів диспергування глин. Наприклад, можливо інтенсифікувати процес диспергування глини за допомогою методу електрофорезу, під час якого при різниці потенціалів на електродах, занурених у глинисту суспензію, до одного з електродів рухаються заряджені частинки глини. Можна ще більше прискорити протікання цього процесу, якщо доповнити його одночасним вібруванням пульпи;

- шляхом самодиспергування глинистих включень. Під час обробки засміченої глиною мінеральної сировини у промивних вежах можна суттєво прискорити процес диспергування глини додаванням електролітів (вапна, соди, рідкого скла, натрієвих солей деяких кислот), а також використовувати воду попередньо оброблену у магнітному полі;

- біологічного диспергування глин за допомогою мікроорганізмів. Наприклад, для диспергування глинистих включень, що містяться у бокситах, можна використовувати так називані «силікатні» бактерії, які здатні розчиняти силікати та алюмосилікати.

Висновки:

- в останньому розділі роботи розглянуто та проаналізовано основне існуюче на даний час механічне обладнання різних типів для промивання засміченою глиною мінеральної сировини, обґрунтовано його раціональні конструктивні та експлуатаційні параметри, запропоновано доцільні шляхи удосконалення промивних машин. Оцінено також перспективи практичного використання нових способів і методів диспергування глинистих домішок гірничої маси, які з'явилися нещодавно і які обіцяють подальший розвиток цього напрямку збагачувальної галузі. Застосування нових та удосконалення традиційних технологій переробки мінеральної сировини забезпечить суттєве підвищення її якості, зростання виробництва та зниження його собівартості.

ВИСНОВКИ

Дослідження, проведені під час виконання магістерської роботи, дали можливість зробити наступні теоретичні висновки та запропонувати деякі практичні рекомендації щодо підвищення ефективності використання механічного обладнання для промивання мінеральної сировини, а саме:

- глинисті матеріали, що присутні у багатьох рудах, вугіллі та нерудних корисних копалинах, негативно впливають на проведення практично усіх технологічних операцій збагачувального виробництва. Вони також є основним джерелом утворення шламів, які також стають перешкодою для розділення руди на порожню породу та коштовні елементи;

- з огляду на це, операції промивання видобутих корисних копалин у технологічних схемах дробильно-сортувальних фабрик з метою видалення глинистих домішок та тонких шламів у багатьох випадках є обов'язковими;

- для їх реалізації використовуються численні різновиди промивного механічного обладнання, що відрізняється за принципом дії, конструктивним виконанням, витратами води тощо;

- для оцінки трудомісткості процесу промивання можна користуватися величиною енерговитрат, якої він потребує. Згідно з цим показником існує наступна система класифікації мінеральної сировини: легкопромивні гірничі породи, що засмічені здебільшого піщаними глинами (зі значними домішками піску), середньо-промивні – з в'язкими глинами, важкопромивні – з особливо в'язкими глинами, які важко піддаються руйнуванню;

- експериментальні дослідження, проведені на лабораторних стендах струминного та вібраційного типів з метою оцінки придатності мінеральної сировини до промивання, продемонстрували характер впливу фізико-механічних властивостей глин на їх диспергувальну здатність та загальну ефективність процесу промивання матеріалу;

- до основних факторів, що впливають на процес промивання, слід віднести гранулометричний склад матеріалу, який промивається; вміст у ньому глини; шо-

рсткість поверхні каменю; здатність глини до розмивання; підготовку матеріалу до розмивання (розмочування та підсушування); температуру та кількість промивної води;

- робота, яка необхідна для диспергування глини, витрачається на утворення нової поверхні глинистих частинок і залежить від межі пружності глини на зсув. Метод оцінки ступеня промивання за енерговитратами процесу представляється найбільш правильним з огляду на те, що максимально комплексно відображає властивості матеріалу, який піддається промиванню;

- якість процесу промивання підвищується в результаті зростання питомого тиску на зерна, який залежить від товщини шару матеріалу у промивній ванні машини; підвищення швидкості взаємного переміщення зерен, яка обумовлена інтенсивністю перемішування матеріалу; подовження часу промивання;

- в останньому розділі роботи розглянуто та проаналізовано основне існуюче на даний час механічне обладнання різних типів для промивання засміченою глиною мінеральної сировини, обґрунтовано його раціональні конструктивні та експлуатаційні параметри, запропоновано доцільні шляхи удосконалення промивних машин. Оцінено також перспективи практичного використання нових способів і методів диспергування глинистих домішок гірничої маси, які з'явилися нещодавно і які обіцяють подальший розвиток цього напрямку збагачувальної галузі. Застосування нових та удосконалення традиційних технологій переробки мінеральної сировини забезпечить суттєве підвищення її якості, зростання виробництва та зниження його собівартості.

Таблиця 3.2 – Результати першої серії дослідів

Маса гравію, кг	Заповнення ванни гравієм, %	Густина гідросуміші, г/см ³	Швидкість руху гідросуміші, м/с	Потужність потоку, кВт	Час диспергування, с	Питомі витрати енергії на диспергування, кВт·г/т
7,25	21,2	1,2	2,7	5,12	12,6	2,46
14,5	41,5	1,41	1,84	6,2	18,0	2,13
21,0	61,8	1,59	1,31	6,69	24,5	2,17
29,0	81,5	1,79	0,9	7,04	32,5	2,18

Таблиця 3.3 – Результати другої серії дослідів

Тиск струменів води, МПа	Швидкість руху гідросуміші, м/с	Час диспергування, с	Питомі витрати енергії на диспергування, кВт·г/т
0,8	1,79	21,0	1,3
1,2	2,02	11,0	1,36
1,6	2,52	7,0	1,27
1,9	2,64	5,5	1,38

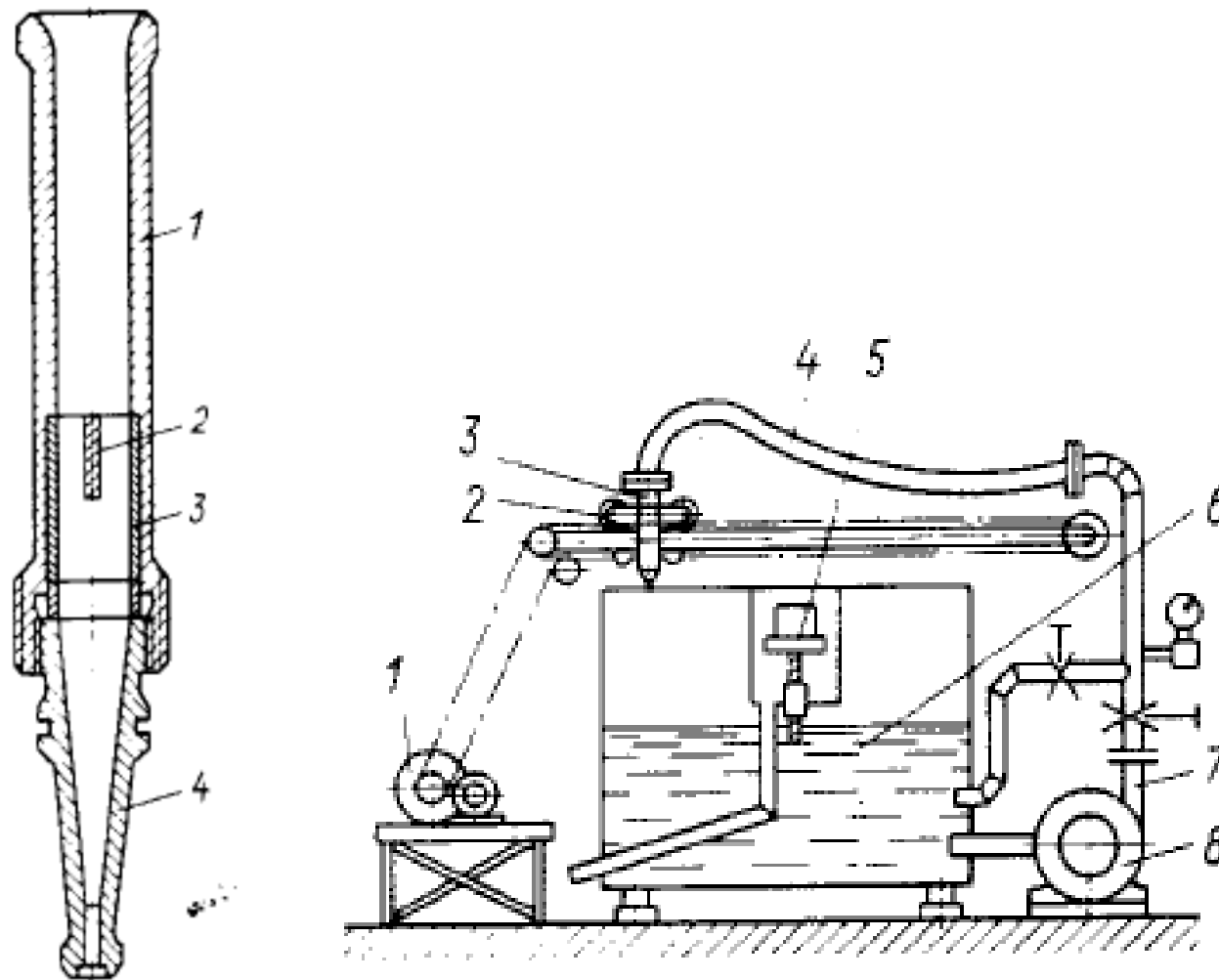


Рисунок 4.10 – Лабораторний стенд для дослідження процесу різання глини струменями води:

а – схема стенду (1 – лебідка; 2 – каретка; 3 – сопло; 4 – шланг;

5 – стіл для установки зразка глини; 6 – бак; 7 – трубопровід; 8 – насос);

б – схема сопла (1 – корпус; 2 – стабілізаційна пластина; 3 – перехідник; 4 – насадка)