

Лекція 5 Технологія процесу ціанування та вилучення благородних металів.

1 ПРАКТИКА ЦІАНУВАННЯ

1.2 МЕТОДИ ЦІАНУВАННЯ

Ціаністий процес був упроваджений в гідрометалургію золота наприкінці дев'ятнадцятого століття, коли збагачувальної і гідрометалургійної апаратури ще не існувало. Вартість тонкого подрібнення у той час була високою, не були розроблені прийоми безперервного вилуговування, обезводнення та фільтрації великих мас тонкоподрібненого матеріалу. Тому в перший період впровадження ціаністого процесу використовували установки для обробки грубозернистого матеріалу методом просочування. Такий прийом обробки не припускав присутності в матеріалі глини, мулу та взагалі тонкоподрібненого матеріалу. Внаслідок цього перед гідрометалургійною обробкою просочуванням необхідно було відокремити мулисту частину матеріалу класифікацією (відмочуванням). Одержану ж зернисту частину (піски, ефеля) обробляли методом просочування в чанах. Відокремлений тонкоподрібнений матеріал (мул) складували для обробки в подальшому.

В результаті вдосконалення апаратури для вилуговування (створення чанів з перемішуванням пульпи) було упроваджено в практику і широко розповсюдився процес так званого роздільного ціанування пісків і мулу. По цій схемі зернисту фракцію (піски) обробляли методом просочування (перколяцією), фракцію мула - методом перемішування (агітацією). З розвитком техніки подрібнення, згущування і фільтрування та з переходом до обробки руд з тонковкрапленним золотом стали піддавати тонкому подрібненню всю масу руди та вилуговувати всю пульпу в чанах з інтенсивним перемішуванням мула по повному процесу. В деяких випадках (при тонковкрапленому золоті) під час обробки по схемі повного процесу мула всю руду піддають тонкому подрібненню до $-0,074$ мм і навіть $-0,043$ мм. Але якщо характер вкрапленості золота не вимагає та-

кого подрібнення, то ціанують пульпу з грубо подрібненим матеріалом, наприклад до $-0,3$ мм.

В даний час більшість фабрик, що витягують золото, працюють із застосуванням вилуговування при перемішуванні пульпи. Проте і вилуговування зернистої фракції руди методом просочування збереглося на деяких підприємствах.

ВИЛУГОВУВАННЯ ПРОСОЧУВАННЯМ

Загальні положення

Вилуговування просочуванням розчину застосовується для обробки руд, легко доступних проникненню ціаністих розчинів до частинок золота при відносно крупному помолі.

Таке подрібнення руди дозволяє здійснювати просочування розчинів через значний шар руди. Для цього способу обробки руд один з головних показників - загальна кількість розчинів, що просочуються через пісок протягом певного часу (тобто швидкість просочування), який залежить від гранулометричної характеристики оброблюваного матеріалу та способу його завантаження в чан. Швидкість просочування звичайно вимірюється в сантиметрах на годину. Достатньою швидкістю просочування вважається швидкість, що дорівнює 5 см/год. Швидкість просочування в загальному вигляді може характеризуватися рівнянням Дарсі:

де Q - швидкість просочування;

K - константа проникності постіль;

A - площа перерізу стовпа завантаження;

p - падіння тиску при протіканні через постіль;

h - висота стовпа завантаження (постілі);

- в'язкість розчину.

Константа проникності матеріалів, що просочуються, змінюється у широких межах, що практично утрудняє застосування формули Дарсі для аналітичного розрахунку швидкості вилуговування. У кожному окремому випадку її слід визначати експериментально.

Для умов просочення шматків руди вилуговуючим розчином вельми суттєве значення має структура її окремих шматків (тріщини, капілярні канали). Разом з цим суттєве значення для просочування розчину має характер взаємного розташування шматків або частинок оброблюваного матеріалу при укладанні в чан. Взаємне розташування частинок і їх асортимент по крупині (гранулометрична характеристика) визначають кількість і розмір міжчасткових пор, доступних заповненню розчином, а отже, й умови просочування розчину.

Для наочної геометричної характеристики розташування частинок звичайно вводиться уявлення про елементарні осередки, що визначають розташування частинок. Форма цих осередків характеризується перетином по площинах, проведених через центри частинок, які умовно прийняті кулястої форми і однакового розміру (рис.1).

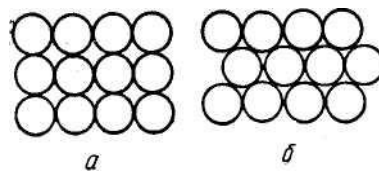


Рис.1. - Укладання кулястих частинок:

- a* - кубічна, пористість 47,64 %;
- б* - ромбічна, пористість 25,96 %

Об'єм пор буде найбільшим у разі кубічного розташування частинок і складає 47,64 % від загального об'єму; при ромбоедричному розташуванні об'єм складає 25,96 %. Визначення пористості завантаження зернистого матеріалу важливо для практичної оцінки кількості розчину, що вміщується при просоченні подрібненої руди.

Знаючи щільність матеріалу та пористість, неважко знайти кількість води або ціаністого розчину, необхідне для заповнення пор і для витіснення при подальшій промивці (Mс). Так, для ромбоедричного розташування частинок пористість – 26 % і при щільності матеріалу 2,7 одержуємо кількість розчину, що заповнює пори: $Mс = 26 \cdot 100 / 74 \cdot 2,7 = 13,1$ % від маси твердого. У разі кубічного розташування частинок пористість буде складати 47,5 % і $Mс = 47,5 \cdot 100 / 2,7 = 38,5$ %.

Проникнення розчинника в пори і канали руди пов'язане з рухом рідини по цих каналах та з дифузією, як самого розчинника, так і продуктів взаємодії реагентів з мінералами. При цьому значну роль відіграють капілярні явища, засновані на змочуванні частинок руди розчином. Просочення породи розчином залежить від того, наскільки гідрофільною є її поверхня. Тому для проникнення розчину велике значення має дія реагентів, що приводить до фіксації на мінеральній поверхні активних речовин. Створення останніми гідрофільної плівки сприяє змочуванню мінеральної поверхні розчином і проникненню його у всі пори, тріщини та капілярні канали. Гідрофільні поверхнево-активні речовини надають позитивну дію в різних процесах вилуговування, особливо при вилуговуванні значнокускового матеріалу. Порожнечі у руді, що вилуговують, утворені зламами в площинах розшарування порід, дрібними порами, які можуть утворювати капілярні канали. У однорідних породах просочення розповсюджується на всіх напрямках приблизно з однаковою швидкістю. У тріщинуватих породах воно розповсюджується спочатку по основних каналах, а потім розчин поступає в канали меншого перерізу та в пори. Цей вторинний процес протікає значно повільніше, внаслідок чого шматки руди вилуговують і промиваються нерівномірно.

Успіх вилуговування визначається також розчинністю у розчині, що вилуговує, газів, поміщених в порожнечах, порах, капілярах і адсорбованих пове-

рхнею мінералів. Розчинення газу, що міститься в каналах і порах руди, може значно прискорити просочення матеріалу розчинами.

1.2.2 Практичне здійснення процесу вилуговування просочуванням

Ціанування методом просочування (перколяція) засноване на контакті ціаністих розчинів з частинками руди і золота, під час якого відбувається розчинення золотинок, і подальшої природної вільної фільтрації розчинів через шар подрібненої руди (піску). Для цього піски завантажують до чану для вилуговування, що має днище, що фільтрує (рис.2), заливають ціаністим розчином, який дренують через певний проміжок часу. Потім завантаження чану промивають спочатку слабкішим розчином в порівнянні з первинним, а потім водою для остаточного відмивання золота, що перейшло в розчин і вільного ціаниду, що залишилися в утриманій піском волозі. Золотовмісні розчини, пройшовши через товщу пісків, витікають через кран, встановлений в стінці чану між дном і фільтром, і прямують на осадження з них золота. Зневоднені і обеззолочені піски через отвір в днищі вивантажують і транспортують у відвал.

Вилуговування просочуванням є найбільш простим і дешевим способом ціанування. Він вимагає нескладного обладнання та порівняно з процесом вилуговування перемішуванням дуже невеликої витрати енергії.

Чани для вилуговування пісків просочуванням виготовляють з дерева або листової сталі. Перевага дерев'яних чанів - в їх меншій вартості та простоті збірки, яку можна здійснювати на місці. Головні недоліки дерев'яних чанів - вбирання розчинів стінками і можливість витоку розчинів через щілини. Залізні чани з 5-10 мм стали дорожче дерев'яних, але вони міцніше за них, можуть бути виготовлені великої місткості та майже виключають витік розчинів.

Звичайно на підприємствах з невеликою продуктивністю місткість чанів знаходиться в межах 75-100 т пісків, на великих підприємствах місткість чанів доходить до 800 т пісків.

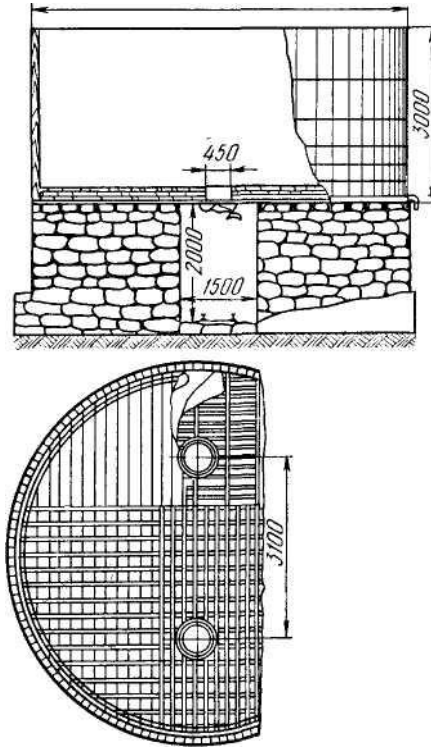


Рис. 2. Чан для ціанування просочуванням

Глибину чана беруть залежно від фільтруючої спроможності пісків; її можна на тому узяти тим більше, чим вище швидкість просочування. В середньому її приймають в межах 2,0-2,5 м. Для чисто кварцових руд глибина чану може бути доведена до 3,5-4,0 м, а для поволі фільтруючих матеріалів вона зменшується до 1,5 м. Діаметр чана визначається виходячи із заданої місткості, тому він змінюється в широких межах.

Звичайно чан для вилуговування має помилкове дно, яке служить фільтром. Цей фільтр споруджують з брусів, що укладаються паралельно. На нижній ряд брусів перпендикулярно до них накладають другий ряд брусів меншого перерізу і на меншій відстані один від одного. На верхній ряд брусів настиляють зшитий з полотна круг. Краї полотна ущільнюють у стінок чану. На полотно настиляють рогожі або мати, на які накладають планки перпендикулярно до ряду

брусів, лежачих під полотном. Замість брусчатих ґрат для фільтрів іноді застосовують ложні днища з дощок з просвердленими отворами.

Для вивантаження обробленого піску в дні чана влаштовують вивантажні отвори - люки діам. 375-400 мм, що щільно закриваються чавунними кришками. Для випуску розчинів під фільтром у самого дна в стінці чану роблять одне або декілька отворів, в які вставляють залізні труби діам. 25-75 мм з кранами.

Чани розташовують на опорних балках, що укладаються на відстані 50 см одна від одної. Балки лежать на дерев'яних, кам'яних або металевих фундаментах. Висота фундаменту та його конструкція повинні дозволяти здійснювати вивантаження вилужених пісків і транспортування їх у відвал.

Швидкість просочування розчинів визначається величиною та формою частинок, ступенем їх однорідності, методом укладання, а також висотою навантаження, тиском і температурою.

Мінералогічний склад пісків також впливає на швидкість просочування. Величина і форма частинок визначають розміри і загальний об'єм проміжків або пор, від яких, в основному, і залежить швидкість просочування. Ця швидкість, природно, зростає із збільшенням пористості навантаження. Тому грубозернистий матеріал вилуговується просочуванням з більшою швидкістю, ніж матеріал дрібнозернистий. При однорідних зернах незалежно від їх розміру (до певної межі) швидкість просочування більше, і розчин від пісків відділяється повніше. Наприклад, в деяких випадках розчини добре просочуються через кристалічний матеріал навіть при дуже дрібних розмірах частинок (наприклад -74 + 43 мкм) за умови, що вони є достатньо однорідними. Деякий вплив на швидкість просочування робить висота навантаження піску. При найбільш часто вживаному напрямі руху розчинів через навантаження зверху вниз швидкість просочування дещо зменшується із збільшенням висоти шару піску внаслідок зростання опору

руху розчинів, але це підвищення опору непропорційно збільшенню висоти навантаження.

Разом з швидкістю просочування розчинів велике значення для успішності протікання процесу вилуговування має рівномірність фільтрації розчинів через завантаження чану. Ця рівномірність протікання розчинів у всіх ділянках об'єму завантаження забезпечує вищий ступінь витягування золота. Для забезпечення такої рівномірності фільтрації розчинів завантаження чану повинне володіти однаковою щільністю та опором в окремих шарах за всіма перетинами чану.

Присутність мула, навіть в тому випадку, якщо він рівномірно розподілений всією масою піску, значно уповільнює швидкість просочування розчинів, збільшує тривалість обробки та, в цілому, знижує витягування золота. Мул утрудняє промивку і затримує золотовмісні розчини, утруднюючи їх витіснення. Тому при великому вмісті мула обробка піску просочуванням звичайно стає недоцільною і навіть технічно неможливою. В середньому можна вважати, що однорідний за розмірами добре класифікований пісок утримує вологу 10%, змішаний по крупині (без мула) 15% вологи. Пісок, неоднорідний по крупині, залежно від вмісту мула утримує ~30% волога і більш. Відповідно залишковому вмісту розчину утримується і золото. З сказаного вище видно, наскільки велике значення в успіху вилуговування просочуванням відіграє попередня класифікація завантаженого в чан матеріалу. Хороша класифікація, зокрема відділення мула, забезпечує велику швидкість і рівномірність фільтрації розчинів, меншу тривалість обробки піску і вище витягання золота.

При заповненні чанів пісками необхідно прагнути до одержання однорідного по будові рихлого завантаження, оскільки із зменшенням щільності маси піску зростає її пористість і, отже, полегшується просочування розчинів. Разом з тим менша щільність навантаження сприяє кращій аерації пісків, тобто насиченню їх киснем.

Для завантаження пісків в чани застосовуються різні способи укладання.

При механічному завантаженні піски доставляються за допомогою системи стрічкових транспортерів. Піски можна завантажувати в будь-який чан з тих, над якими в цей час встановлені транспортери. Розвантаження здійснюється за допомогою спеціального розвантажувального візка, що пересувається по рейках, прокладених по обидві сторони від стрічки.

Гідравлічне завантаження пісків застосовують для продуктів мокрого подрібнення і класифікації. Одержані в результаті класифікації піски дуже часто розбавляють водою і самопливом по жолобам транспортують в чан через розподільний пристрій. Піски осідають в чані, надлишок води стікає через кільцевий жолоб. Після заповнення чана піски зневоднюються природною фільтрацією через фільтр ложного дна.

Завантаження за допомогою жолобів здійснюється або через один жолоб над кожним чаном, або через чотири радіальні жолоби над кожним чаном.

Напрямок руху вилуговуючих розчинів може бути зверху вниз (низхідне), від низу до верху (висхідне) або змішане. Найчастіше практикується заливка розчинів і просочування їх вниз через навантаження під дією гравітаційної сили. Недолік цього способу - швидке замулювання поверхні фільтру дисперсними частинками руди, захоплюваними розчинами під час руху зверху вниз. Рух розчинів під деяким натиском знизу відбувається швидше природної фільтрації. Окрім того, повітря, що знаходиться в порах завантаження, легше витісняється, не відбувається забивання пор фільтру. Під час руху розчинів від низу до верху вони віддаляються зверху чану по кільцевому жолобу. Подача розчинів знизу складніше, вимагає напірних баків або насосів і тому застосовується рідко.

Кількість розчинів, яка може бути ввібраною навантаженням пісків в чані, підраховується на основі щільності та об'ємної маси матеріалу, що вилуговують.

Звичайно вилуговування золота просочуванням здійснюють послідовною заливкою порцій ціаністих розчинів убуваючої концентрації. Перші міцні розчини містять 0,1-0,2% NaCN (або іншого ціаниду), середні 0,05-0,08% NaCN і слабкі 0,03-0,05% NaCN. Загальна кількість всіх розчинів, що проходять через навантаження чана, коливається від 0,8 до 2,0 частин (за масою) на 1 частину (за масою) сухих пісків, найчастіше це відношення беруть рівним 1,5. Концентрація розчинів і їх загальна кількість залежать від характеру оброблюваного матеріалу і у кожному окремому випадку встановлюються дослідним шляхом.

Розчини в чани заливають порційно і рідше безперервно. При першому способі навантаження спершу заливають концентрованим розчином, який після певного часу контакту з піском дренають, і кожен наступний розчин заливають лише після повного стікання попереднього розчину. При безперервному просочуванні розчини закачують по мірі пониження рівня їх в чані.

Перевагу над періодичною (порційною) заливкою розчинів звичайно віддають безперервній, оскільки при дренаванні розчинів в пори завантаження втягується повітря, необхідне для розчинення золота. За даними практики, періодичне вилуговування в деяких випадках дає вище витягування золота.

При періодичному (порційному) вилуговуванні звичайно встановлюють такий порядок заливки розчинів. Спочатку в чани заливають концентрований розчин в кількості від 25 до 50% від маси сухих пісків. Після насичення навантаження розчином і наповнення чана на 50-75 см вище за поверхню пісків здійснюється контакт пісків з розчинами протягом певного часу (6-24 год.). За цей час навантаження повністю просочується розчинами, і велика частина золота переходить в розчин. Тривалість контакту не повинна бути надмірною. В умовах нерухомих розчинів процес дифузії кисню і аніонів ціаниду протікає поволі і розчин, що оточує частинки золота, насичається комплексним ціанідом золота і знекислюється. Внаслідок цього подальше розчинення золота сповільнюється, а потім і

зупиняється. Тому подальше подовження часу контакту навантаження з розчином вже буде даремним. Оптимальну тривалість контакту з розчином звичайно визначають дослідним шляхом.

Після необхідного контакту з концентрованим розчином останній дренають через фільтр і направляють на осадження золота. Після відділення основної маси концентрованого розчину (припинення стікання) навантаження звичайно провітрюють декілька годин (6-12 год.) для насичення киснем. Наступний цикл обробки - заливка середніх розчинів і повторення всіх операцій. Після дренажу розчинів середньої концентрації і аерації слідує обробка навантаження по тій же схемі слабкими розчинами і промивка водою. Як правило, кількість промивної води, щоб уникнути збільшення загального об'єму розчинів, не повинна перевищувати кількість води, що йде у відвал з хвостами, втраченої в результаті течі, випаровування, також такої, що скидається у відвал з метою оновлення розчинів при накопиченні в них забруднень.

Іноді для прискорення фільтрування розчинів в кінці дренавання застосовують вакуум. Під дією вакууму прискорюється фільтрування, що скорочує час обробки, піски повніше зневоднюються, краще насичаються повітрям, витягування золота підвищується. Робота під вакуумом знаходить застосування при вилуговуванні тонких або некласифікованих пісків, в капілярах яких затримується багато розчину. Проте в цьому випадку фільтр швидко забивається ілами.

В деяких випадках навантаження пісків продувають стислим повітрям з метою окислення відновників (переведення закисних солей заліза в оксидні) і прискорення розчинення золота. Стисле повітря під тиском $0,5 \text{ кг/см}^2$ вводять під фільтр.

Після обробки ціаністими розчинами піски можна вивантажувати різними способами:

- сухе вивантаження пісків уручну;

- сухе механізоване вивантаження за допомогою дискового екскаватора;
- гідравлічне вивантаження.

Вивантаження пісків з чана уручну здійснюється через люки в днищі чанів. Через відкриті люки піски вивантажують у вагонетки, на яких вилужений матеріал транспортують по рейках у відвал. Іноді для транспорту хвостів у відвал застосовують стрічкові конвеєри. Цей спосіб малопродуктивний і застосовується лише на дрібних підприємствах.

Вивантаження за допомогою дискового екскаватора знайшло застосування на деяких закордонних підприємствах при розвантаженні чанів великої місткості. Перевага такого методу - швидкість розвантаження при малій витраті енергії.

Гідравлічне вивантаження здійснюють вимиванням пісків з чана сильним струменем води через канал (свердловину), зроблений заздалегідь в навантаженні. Розмиті піски стікають в жолоб і зносяться у відвал. Цей спосіб вимагає 3-6 т води на 1 т піску. Воду подають під тиском 1,5-3,0 кг/см². При достатній кількості води і сприятливому рельєфі місцевості гідравлічний спосіб вивантаження дешевий і простий в оформленні.

Тривалість обробки піску залежить від ступеня механізації заповнення і вивантаження чанів, швидкості просочування, кількості розчинів і режиму обробки, визначеного речовинним і гранулометричним складом пісків. На практиці тривалість повної обробки одного навантаження пісків в середньому складає 4-8 діб. При обробці погано класифікованих пісків тривалість обробки може зростати до 10 і навіть 14 діб. Тривалість обробки пісків - важливий техніко-економічний чинник, оскільки він визначає розміри і вартість устаткування, продуктивність підприємства і вартість обробки.

Витрата реагентів залежить від характеру оброблюваного матеріалу і складає 0,25-0,75 кг ціаниду (по NaCN) і 1-2 кг вапно на 1 т сухого піску.

Витягування золота при ціануванні пісків методом просочування залежить від розмірів частинок золота і характеру його асоціації з іншими мінералами, кількості сульфідів і поглиначів ціаниду, що фільтрує здібності пісків, тривалості обробки, кількості і концентрації розчинів по ціаніду. Витягування золота підвищується з поліпшенням фільтруючої спроможності пісків і із зменшенням кількості затримуваних ними розчинів.

Велике значення має ретельність відмивання розчиненого золота. Чим дрібніше золото, чим повніше воно є голим, тим швидше воно розчиняється в ціаністих розчинах і тим вище його витягування. Тому вище витягування повинне виходити при тоншому подрібненні матеріалу. Проте збільшувати ступінь подрібнення пісків можна лише до тих пір, поки внаслідок цього додатково витягуване золото виправдовує вартість тоншого подрібнення. Окрім того, збільшення тоніни помелу зменшує швидкість просочування, що збільшує час обробки і експлуатаційні витрати. З позицій економіки слід також вирішувати питання про доцільність підвищення концентрації розчинів.

Вилуговування золота просочуванням є найпростішим і дешевшим способом ціанування золотовмісних руд. Він дозволяє використовувати вельми просте устаткування, вимагає невеликої витрати енергії та при відповідній підготовці матеріалу для деяких типів руд дає цілком задовільні результати. Недоліком методу просочування порівняно з вилуговуванням перемішуванням пульпи є тривалість процесу, громіздкість устаткування, що вимагає великої кубатури будівель, і, як правило, нижче витягування золота. Але метод просочування набуває переваг перед методом вилуговування завдяки перемішуванню при обробці бідних руд, які не можуть виправдати тонкого подрібнення і які містять золото і срібло, легко витягуються навіть при повільній фільтрації ціаністих розчинів через подрібнену руду.

Ефективність і техніко-економічні показники процесу вилуговування просочуванням можуть бути підвищені застосуванням наступних заходів:

- ретельніша класифікація пісків з метою прискорення просочування і зменшення кількості розчинів, що затримуються пісками;
- механізація процесів заповнення і вивантаження чанів;
- застосування вакууму для прискорення фільтрування і зниження залишкової вологості пісків;
- штучна аерація пісків для прискорення розчинення золота і зниження витрати ціаниду.

1.3 Вилуговування перемішуванням пульпи

1.3.1 Особливості процесу

Вилуговування перемішуванням пульпи - ефективніший процес порівняно з вилуговуванням просочуванням. Ця велика ефективність обумовлена, в першу чергу, прискоренням оновлення розчинів навколо частинок і інтенсивнішим окислюванням розчинів порівняно з розчинами, що знаходяться в стані спокійного контакту. Тому ціанування перемішуванням при однаковому ступені подрібнення дає вище витягання золота порівняно з методом ціанування просочуванням. Як правило, для повнішого розкриття золота перед вилуговуванням перемішуванням застосовують тонше подрібнення руд. Тому в цьому випадку великого значення набувають питання обезводнення - згущування і фільтрація. Оскільки з млинів виходить сильно розріджена пульпа ($P : T = 5 : 1$, а іноді і вище), перед вилуговуванням, здійснюваним при $P : T = 2 : 1$, а іноді і $1,5 : 1$, необхідно проводити згущування. Операцію згущування часто проводять і після вилуговування перед фільтрацією. Тонке подрібнення руди і фільтрація пульпи, мула, - енергоємні операції. Тому вилуговування перемішуванням пульп порівняно з вилуговуванням просочуванням вимагає вищої витрати енергії.

1.3.2 Згущування

Згущування - наступний після подрібнення етап обробки пульпи. Воно полягає в частковому обезводненні пульпи відстоюванням - осіданням твердих частинок на дно чана-згущувача і зливом освітленого розчину. В більшості випадків в матеріалі, що осів, залишається близько 50% (за масою) води, що відповідає відношенню $P : T = 1 : 1$. Межа згущування залежить від крупини, щільності і фізико-хімічних властивостей подрібнених частинок оброблюваної руди.

Частинки, що містяться в пульпі, звичайно сильно розрізняються за розмірами. Разом з порівняно крупними зернистими частинками (понад 0,1 мм) в пульпі звичайно міститься значна кількість частинок розміром в декілька мікрон і навіть дрібніше (менше 0,001 мм). Крупніші частинки осідають швидше, а дрібні утримуються в зваженому стані протягом довгого часу.

Осідаюча частинка рухається спочатку прискорено, але через деякий проміжок часу, коли опір тертя середовища зрівноважить дію сили тяжіння, вона набуває постійної швидкості і падає рівномірно. У разі вільного (необмеженого) падіння швидкість падіння частинок може бути обчислена за відомою формулою Стоксу. Проте цю формулу можна застосовувати лише для зернистого матеріалу з розмірами частинок крупніше 0,5 мкм, оскільки осадження дрібніших частинок гальмується явищем пептизації, коли унаслідок броунівського руху частинки можуть знаходитися в зваженому стані дуже довгий час.

Дуже часто тонкі фракції сульфідних і несульфідних рудних пульп, що за розмірами частинок не належать до дійсних колоїдів, є носіями колоїдних властивостей. Пептизація таких мінеральних частинок сильно утрудняє процес згущування. Найголовніші носії колоїдних властивостей - тонко дисперсні мінерали: глинисті речовини, колоїдна кременева кислота (гідратована SiO_2), багато окислених мінералів важких металів, шламисті фракції багатьох сульфідних мінералів.

Пептизація колоїдних частинок, як відомо, створюється в результаті адсорбції на їх поверхні заряджених однойменних іонів. В результаті цього диспергована речовина набуває деякого заряду, а в дисперсійному середовищі залишається надлишок іонів протилежного знаку. Тому однойменно заряджені частинки, відштовхуючись, залишаються в зваженому стані і не осідають. В цьому випадку для поліпшення відстоювання необхідно укрупнити частинки флокуляцією їх (злипанням) в крупніші агрегати. Для цього в розчин вводять речовини, які утворюють в розчині іони, що володіють спроможністю адсорбуватися на поверхні дисперсної фази і що мають заряд, протилежний заряду спочатку адсорбованих іонів, що створюють стійкість системи. При введенні коагулятора заряди дисперсних частинок нейтралізуються, частинки дістають можливість з'єднання в крупніші пластівці (флокули) і швидко осідають на дно згущувача. Зрозуміло, що для оптимальної дії коагулятора вводити його потрібно в кількостях, необхідних для нейтралізації зарядів спочатку адсорбованих іонів. Надмірна кількість коагулятора може перезарядити дисперсні частинки (надати їм заряд протилежного знаку) і привести до зворотного диспергування частинок. При адсорбції колоїдними частинками багатовалентних іонів порівняно з іонами меншої валентності виходять ефективніші результати як у разі флокуляції, так і при диспергуванні.

При відстоюванні режим осідання твердих частинок залежить як від ступеня флокуляції або дефлокуляції, так і від ступеня розрідження пульпи. Відношення $P : T$ в пульпі впливає на швидкість відстоювання. Проте цей вплив має складний характер. Збільшення ступеня розбавлення покращує відстоювання, але разом з цим при підвищенні вмісту твердого в пульпі прискорюється процес флокуляції (коагуляції).

При певному (невеликому) розрідженні пульпи частинки флокульованої суміші опускаються всією масою і верхній шар рідини стає практично прозорим (світлим). Рідина витісняється вгору унаслідок осідання твердої речовини. Відста-

ні між окремими частинками зменшуються, відбувається ущільнення пульпи. В умовах стиснення пульпи визначення швидкості падіння частинок по формулі Стоксу робиться неможливим, оскільки окремі агрегати частинок непостійні за розмірами, мають різну форму, стикаються між собою і містять всередині розчин (воду).

Практично, як вже було сказано, флокуляція є важливим чинником в прискоренні процесу згущування. Її протікання залежить від добавки електролітів, деяких колоїдів, температури і визначеного для кожної пульпи ступеня розрідження. Як коагулятор часто використовують найбільш дешевий реагент-вапно, яка одночасно виконує роль захисного лугу. Для розбавлених пульп ($P : T = 20 : 1$) при концентрації вапна 0,02% підвищується швидкість відстоювання на 35%. При більш розбавленій пульпі така ж кількість вапна збільшує швидкість відстоювання всього на 4%.

Введення вапна в розбавлену пульпу разом з дією на швидкість відстоювання прискорює перехід до консолідованого осадження. У щільних пульпах такого ефекту не спостерігається.

Мінералогічний склад руди і навіть деякі компоненти, що містяться в ній в малих кількостях, сильно впливають на ефект флокуляції, що відбувається в результаті дії різних реагентів. Наприклад, за дослідженням І.К.Скобеєва, деякі сульфідні мінерали (пірит, піротин та інші) і гідрофільні глинисті речовини в процесі коагуляції утворюють суцільні сітчасті структури, що утримують великі кількості розчинів, що знижує ефект обезводнення згущуванням. Підвищення температури звичайно помітне прискорює відстоювання пульп. Вважається, що нагріванням пульпи можна збільшити продуктивність згущувача на 10-20%.

У останні 10-15 років для прискорення згущування пульп широко застосовуються як флокулянти високомолекулярні сполуки. Випробування різних фло-

кулянтів при згущуванні вапняно-ціаністих пульп виявило найбільшу флокулювальну здатність у катіонно-аніонних сполук, зокрема для поліакриламідів.

Поліакриламід значно прискорює осадження всіх пульп в початковий період згущування, в так званій зоні вільного падіння частинок. Введення в пульпу всього 10 г флокулянта на 1 т руди збільшує швидкість осадження в 2-4 рази. Використання поліакриламідів скорочує тривалість згущування, але не завжди зменшує вологість продукту, що згущують. В деяких випадках введення в пульпу 4-6 г поліакриламідів на 1 т руди дозволяє скоротити витрату вапна на 2,5 кг (на кожен тону руди), одержати чистий злив згущувачів і збільшити продуктивність останніх приблизно в 1,5 рази.

Згущування пульп здійснюється в згущувачах. Пульпу подають в центр згущувача. Ущільнений осад, що осів, гребками згрібається до розвантажувального отвору в дні чана, звідки відкачується насосом до місця призначення (у вилуговувальний чан, на фільтр і т.д.). Освітлений розчин піднімається вгору і зливається через край згущувача в кільцевий жолоб і далі у відповідний збірник. Швидкість надходження пульпи і швидкість зливу регулюються так, щоб злив із згущувача був практично прозорим.

Пульпа в процесі відстоювання проходить дві головні фази: першу - вільного відстоювання і освітлення розчину та другу ущільнення, або стиснення осаду. Зона вільного відстоювання характеризується такою щільністю пульпи, коли пластівці мула, що утворилися при введенні коагулятора, вільно осідають під дією сили тяжіння з швидкістю, що поступово зменшується, до тих пір, поки не буде досягнута критична точка, на якій закінчується вільне осадження і починається зона ущільнення осаду. Зона ущільнення, або стиснення осаду характеризується настільки тісним розташуванням пластівців, що вони власне не осідають, а стискаються, причому рідина, що полягає в осаді, вичавлюється і виходить по каналах, що утворюються, у вище розташовані шари рідшої пульпи. На перехід

згущування мула в останню зону указує різке уповільнення швидкості відстоювання і утворення каналів чистого розчину в згущуючій масі. Відповідно цій схемі в згущувачах звичайно розрізняють чотири зони. Перехід із зони відстоювання в зону стиснення характеризується ступенем розрідження пульпи. Ця критична щільність залежить від природи згущуваного матеріалу і концентрації речовин, присутніх у водному розчині. Для більшості ілів критичне відношення $J : T$ звичайно дорівнює 2-3 (25-33% твердого в пульпі). В той же час для типового колоїду це відношення буде більше 10 (до 17). З підвищенням концентрації вапна зростає величина критичного розрідження. Межа згущування, що сягається на практиці, звичайно лежить в межах від $P : T = 1 : 1,5$ до $1 : 1$. Кварцові пульпи можуть згущуватися до 45-65% твердого.

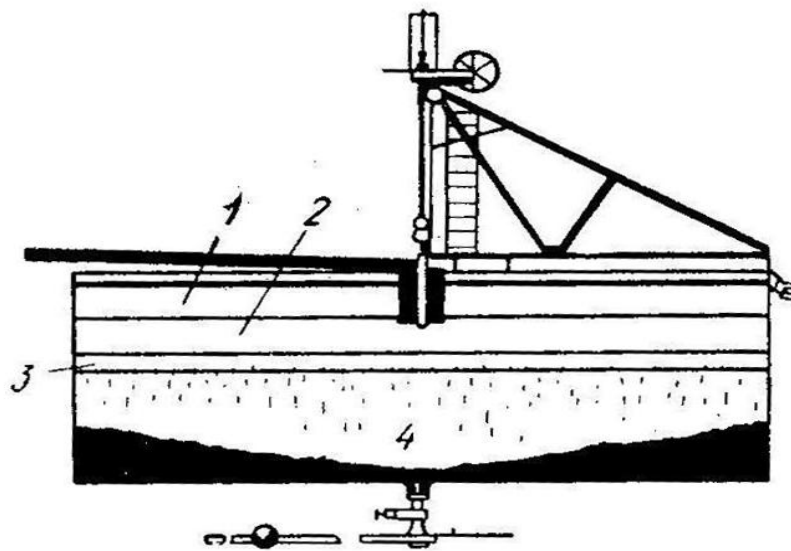


Рис.4. Схема процесу згущення:

- 1 – зона освітленої води; 2 – зона вільного відстоювання;
3 – перехідна зона; 4 – зона стиснення та ущільнення

Механічне згрібання згущувача матеріалу, що осів на дно, до центру сприяє його обезводненню за рахунок руйнування структур і окремих флокул, в порожечках яких знаходиться рідка фаза, і утворення каналів в пульпі, що полегшують виділення з неї рідини.

Швидкість висхідного струменя (ціаністого розчину) в згущувачах при розбавлених ціаністих пульпах звичайно складає 25 мм/с. При щільніших пульпах швидкість висхідного струменя є меншою. Отже, розбавлення густої пульпи до відомої межі не викликає пониження продуктивності згущувача по твердому. Для концентратів, флотацій, щоб уникнути спінювання та спливання матеріалу швидкість висхідного струменя знижують до 0,05 мм/с. Висоту згущувача визначають залежно від висоти чотирьох зон, через які проходить пульпа, що згущується. Висота зони освітлення звичайно буває 0,5-0,8 м. Зона руху гребків дорівнює 0,3-0,4 м. Висоту зони згущування встановлюють орієнтовно відповідно до властивостей пульпи або розрахунку, заснованого на експериментальних даних. Продуктивність згущувача не залежить від його висоти, а залежить тільки від швидкості осадження та вільної поверхні згущувача. Тому сучасні конструкції згущувачів мають велику площу при відносно малій висоті апаратів.

У ціаністому процесі при згущуванні пульп, що містять 75- 90% зерен фракції -0,074 мм, і при початковому Р : Т від 9 : 1 до 4 : 1 питома площа згущування складає 0,4-0,6 м² на 1 т твердого на добу. При згущуванні глинистих матеріалів питома площа може зростати до 1,5-2,0 м² на 1 т твердого на добу.

1.3.3 Загальні умови розчинення золота при вилуговуванні перемішуванням

Аерація пульпи. Внаслідок дисперсності та підвищеної в'язкості пульпи, мула, розчинність кисню є зниженою, а його дифузія утрудненою. Окрім того, тонкоподрібнені колчедани легко окислюються, поглинають кисень і тим самим уповільнюють розчинення золота. Тому при вилуговуванні пульп особливе значення набуває безперервного насичення їх киснем, що здійснюється енергійним перемішуванням пульпи.

Концентрація ціаністих розчинів. Золото в пульпі, мула, звичайно присутнє у вигляді дрібних частинок. Поверхня їхнього зіткнення з розчином ве-

лика, і золото при перемішуванні розчиняється з великою швидкістю. Тому при вилуговуванні перемішуванням ціаністі розчини можуть бути менш міцними, чим при вилуговуванні просочуванням. У кожному конкретному випадку найбільш вигідна концентрація ціаністих розчинів повинна бути визначена досвідченим шляхом. На практиці залежно від характеру руди концентрація ціаністих розчинів складає 0,03-0,1% (по NaCN).

Відношення рідкого до твердого у пульпі, що вилуговують. При одній і тій же концентрації ціаністого розчину швидкість розчинення золота буде тим меншою, чим менше розбавленою пульпа. Це пояснюється зменшенням швидкості дифузії іонів розчинника і молекул кисню в густіших пульпах внаслідок їх підвищеної в'язкості. Досліди показали, що якщо при $P : T = 6 : 1$ за певний проміжок часу розчиняється ~ 60 частин (за масою) золота, то при збільшенні щільності пульпи швидкість розчинення падає і при $P : T = 1 : 1$ складає лише 20 частин (за масою) золота за той же проміжок часу. Але ціанування розбавлених пульп пов'язане із збільшенням об'єму апаратури і з підвищенням вартості обробки великої кількості пульпи і розчинів. Тому збільшення відношення $J : T$ при перемішуванні пульп, хоч і підвищує швидкість розчинення золота, буде вигідно не у всіх випадках. Велике розрідження припустимо лише за умови компенсації збільшення вартості обробки підвищенням витягування золота або економією від скорочення часу перемішування. На практиці при обробці кварцових пульп встановлюють невелике розрідження: від 1,2 до 2 і рідше за 3 частини рідкого на одну частину твердого.

При ціануванні пульп з великим вмістом зернистої фракції відношення $J : T$ беруть нерідко 0,8-1,2. При обробці пульп, мула, це відношення збільшують до 2,5-3, а в деяких випадках ще більше. Так, при ціануванні сульфідних руд і концентратів $P : T$ приймають 2-4, а в окремих випадках до 6. Для прискорення роз-

чинення золота в густих пульпах перемішування слід вести в більш концентрованих ціаністих розчинах.

1.3.4 Практичне здійснення вилуговування пульп перемішуванням

Процес вилуговування можна здійснювати двома шляхами:

- періодичним вилуговуванням;
- безперервним вилуговуванням.

При ціануванні за принципом періодичного вилуговування пульпу періодично закачують в паралельно працюючі чани. Після перемішування протягом певного проміжку часу пульпу випускають або перекачують в збірні чани, а у чани для вилуговування закачують нову порцію пульпи. У збірних чанах вилужена пульпа накопичується і підтримується в зваженому стані до надходження в подальшу стадію обробки. Можна здійснити всі цикли вилуговування і відмивання в одному чані.

При безперервному вилуговуванні пульпа поступає в ряд послідовно сполучених чанів, в яких піддається перемішуванню. Якщо самоплив пульпи не можна забезпечити, для перекачування пульпи застосовують насоси. Безперервно діюча система вилуговування звичайно з'єднується з безперервною системою обезводнення.

Безперервна система вилуговування має наступні переваги перед періодичною:

- можливість повної автоматизації процесу;
- менший переріз трубопроводів, менша потужність двигунів і насосів для перекачування пульпи;
- ефективніше використання чанів внаслідок відсутності операцій закачування і спорожнювання;
- відсутність збірних чанів і витрати енергії на знаходження в них пульпи в зваженому стані.

Тому в сучасній практиці в переважній більшості випадків застосовують схему безперервного вилуговування.

За принципом дії чани для ціанування перемішуванням підрозділяються на наступні типи:

- з механічним перемішуванням;
- з пневматичним перемішуванням;
- з пневмомеханічним перемішуванням.

До першого типу відносяться збірні чани (мутілки) і чани з імпелерною мішалкою.

Збірні чани є простим типом чанів і використовуються для накопичення та знаходження пульпи в зваженому стані. Перемішування в цих чанах здійснюється простою хрестовиною, насадженою на вертикальний вал.

Для знаходження твердих частинок в зваженому стані швидкість мішалки на кінцях лопасті повинна бути не менше ніж 200 м/хвил.

Чан з імпелерною мішалкою є апаратом, в центрі якого розташована широка труба 1 з похилими циркуляційними патрубками 2. Через трубу проходить вертикальний вал 3, на нижньому кінці якого укріплено імпелер 4. Вал приводиться до обертання від електродвигуна із швидкістю 150-250 об/хвил. У нижній частині центральної труби є захисний щиток 5, що оберігає імпелер від заїливання при зупинці мішалки. Живлення агітатора пульпою проводиться по жолобу 6 або по трубі 7; випуск - через отвір 8.

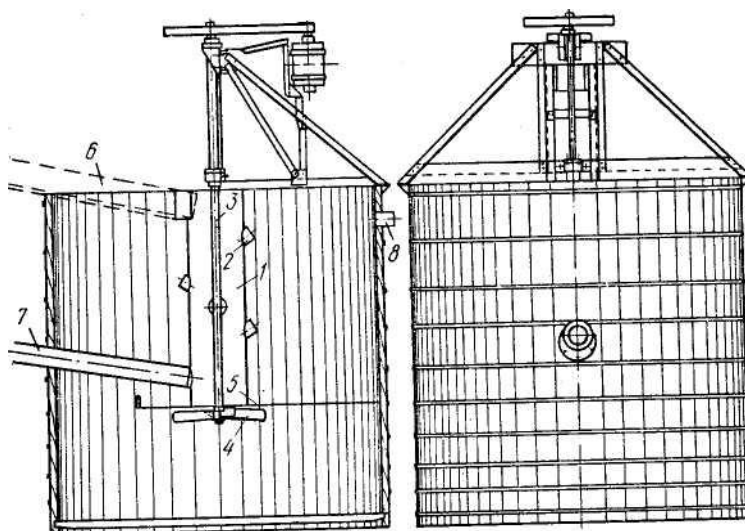


Рис.3. - Чан з імпелерною мішалкою

При роботі апарату імпелер затягує пульпу через циркуляційні патрубки вниз по центральній трубі, утворюючи воронку засмоктування. У цю воронку засмоктується також повітря у вигляді великої маси дрібних пухирців, завдяки чому відбувається інтенсивна аерація пульпи. Імпелер, що обертається, відкидає пульпу, що опускається по центральній трубі, і підтримує її у взмученому стані. Пульпа, що піднімається, знову засмоктується через бічні патрубки в центральну трубу, і таким чином встановлюється безперервна циркуляція пульпи в апараті. Перевага агітаторів з імпелерною мішалкою - інтенсивна аерація і перемішування пульпи. Недолік є загальним для всіх механічних перемішувачів - порівняно висока витрата електроенергії.

Основним типом чанів з пневматичним перемішуванням є поширений апарат з центральним аероліфтом - пачук.

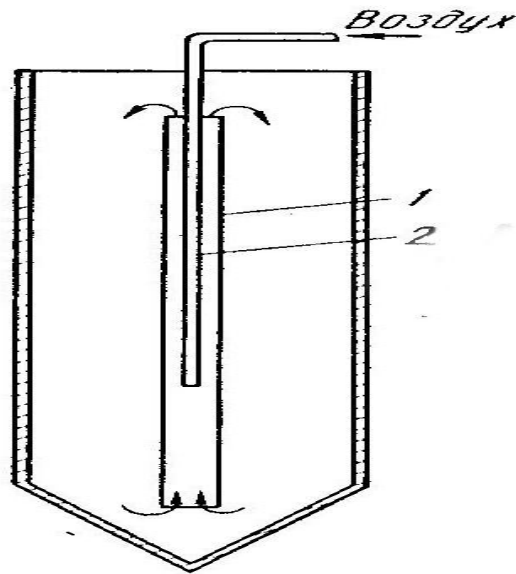


Рис. 4 - Пачук

Пачук є високим циліндровим чаном з конічним днищем. Діаметр чана звичайно в три рази менше висоти. У центрі чана встановлена відкрита з обох боків аероліфтова труба 1. Всередину цієї труби на 1/2- 2/3 її висоти введена інша труба 2 меншого діаметра, що служить для підведення стислого повітря. Робота апарату полягає в наступному. В пачук, наповнений пульпою, по трубі 2 нагнітають стисле повітря, яке у вигляді окремих пухирців піднімається вгору по центральній аероліфтній трубі 1. Таким чином в апараті встановлюється безперервна циркуляція пульпи.

До переваг апаратів цього типу відноситься можливість перемішування густих пульп (до $P : T = 1 : 1$), простота пристрою, обумовлена відсутністю рухомих частин, і інтенсивна аерація ціаністого розчину. Остання обставина дозволяє застосовувати чани з пневматичним перемішуванням для ціанування пульп, що містять колчедани, які швидко окислюються. Недоліками даних апаратів є: необхідність приміщень великої висоти і замулювання нижньої частини апарату у разі припинення дуття. Пачуки знаходять широке застосування в золотовидобувній промисловості, особливо за кордоном.

До чанів з пневмомеханічним перемішуванням відносяться чани з центральним аероліфтом і гребковою мішалкою і чани з периферичними аероліфтами і імперною мішалкою.

Чан з центральним аероліфтом і гребковою мішалкою є циліндровим апаратом з плоским отвором в їх днищі. Тверді частинки знов осідають на дно апарату, підгрібаються до аероліфтної труби, і таким чином встановлюється безперервна циркуляція пульпи.

Чани цього типа широко застосовуються на вітчизняних золотовидобувальних фабриках. Основна перевага цих апаратів - їх невелика висота і хороша аерація пульпи. До недоліків цих чанів відноситься поступове накопичення в них значних важких частинок, що примушує періодично вдаватися до очищення апарату.

Чани з периферичними аероліфтами і імперною мішалкою є подальшим удосконаленням розглянутих вище чанів з імперною мішалкою. Ці чани, окрім центральної труби і імперної мішалки, мають чотири аероліфти, розташовані по колу чана біля його стінок. Аероліфти у верхній своїй частині зігнуті під кутом 90° і приєднані до центральної труби. В результаті цього пульпа циркулює як через бічні патрубки центральної труби, так і через периферичні аероліфти. Зі всіх розглянутих вище чанів ці апарати відрізняються найбільш високими аераційними характеристиками, а отже, і найбільшою продуктивністю.

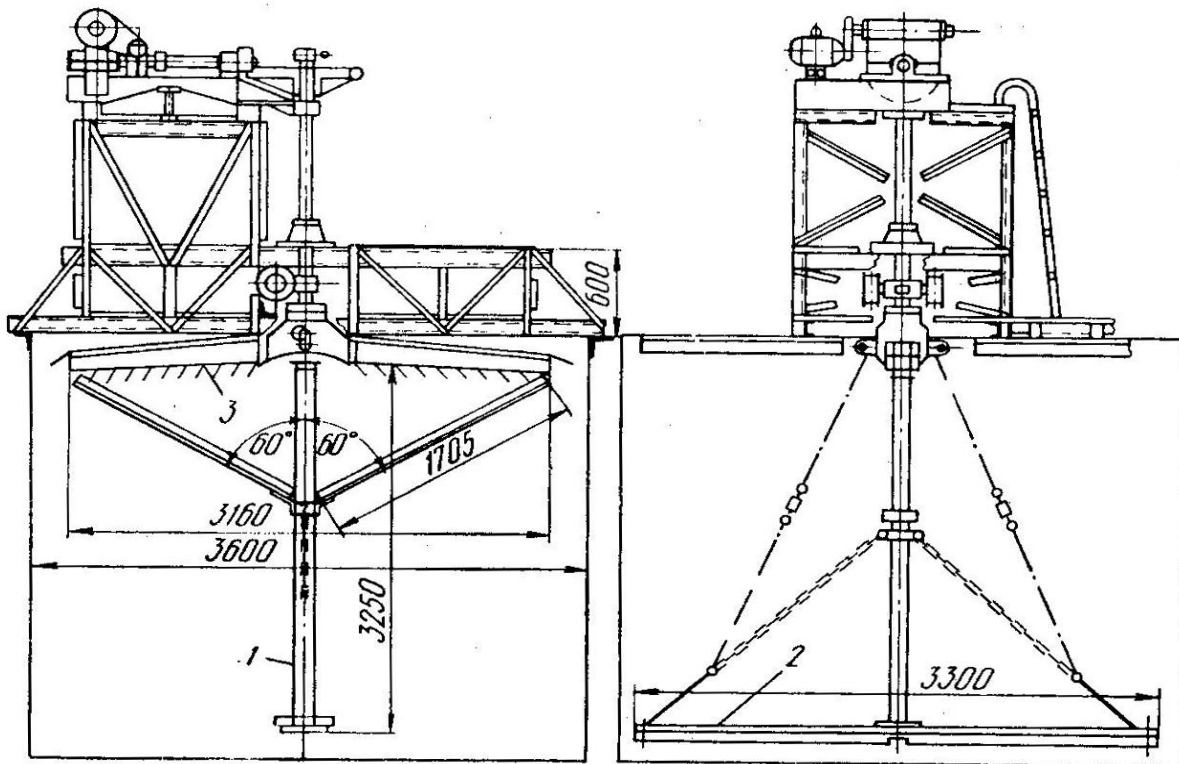


Рис. 81. Чан с центральным аэролифтом и гребковой мешалкой