

УДК 622.349.5.002.68:622.8

Шевченко В.Г., д-р техн. наук, ст. наук. співр.,
Шевченко Г.О., д-р техн. наук, ст. наук. співр.,
Лебедь Г.Б., магістр,
Сущенко О.І., магістр
(ІГТМ ім. М.С. Полякова НАН України)

ПОЛІЧАСТОТНІ ГРОХОТИ ДЛЯ ТОНКОЇ КЛАСИФІКАЦІЇ І ЗНЕВОДНЕННЯ ПОДРІБНЕНИХ УРАНОВИХ РУД ТА ВІДХОДІВ ЇХ ПЕРЕРОБКИ

Шевченко В.Г., д-р техн. наук, ст. науч. сотр.,
Шевченко Г.А., д-р техн. наук, ст. науч. сотр.,
Лебедь Г.Б., магістр,
Сущенко А.И., магістр
(ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины)

ПОЛИЧАСТОТНЫЕ ГРОХОТЫ ДЛЯ ТОНКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ И ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ИЗМЕЛЬЧЕННЫХ УРАНОВЫХ РУД И ОТХОДОВ ИХ ПЕРЕРАБОТКИ

Shevchenko V.G., D. Sc. (Tech.), Senior Researcher,
Shevchenko G.O., D. Sc. (Tech.), Senior Researcher,
Lebed G.B., M.S (Tech.),
Sushchenko O.I., M.S (Tech.)
(M.S. Polyakov IGTM NAS of Ukraine)

POLYSTYRENE SCREENS FOR FINE CLASSIFICATION AND DEWATERING OF CRUSHED URANIUM MINERALS AND WASTE

Аннотация. Для виділення із замкнутого циклу кондиційних часток подрібненої уранової руди запропоновано використовувати вібраційні полічастотні грохоти, які призначені для класифікації сипких матеріалів і виділення твердих часток із пульп чи суспензій по їх крупності від декількох мікрон до міліметрів. При віброударному полічастотному збудженні робочого органу та ситових поверхонь вібраційного полічастотного грохоту МВГ можливе ефективне виділення шламоутворюючих часток з технологічного циклу подрібнення на стадії максимального розкриття часток уранових руд, зневоднення виділених часток та виділення і зневоднення пустої породи з лужного розчину для подальшої її утилізації. У технологічних схемах збагачення уранових руд вібраційні полічастотні грохоти можуть встановлюватись для виділення некондиційних часток перед вилуженням урану, для підвищення ефективності вилуження та зменшення витрат лужного розчину, або, взагалі, для заміни гідроциклонів у замкнутому циклі подрібнення. Це дозволить зменшити переподрібнення кондиційних часток руди у замкнутому циклі, підвищити продуктивність технологічного ланцюгу (секцій) подрібнення за рахунок більш ефективного використання потужностей кульових млинів, зменшити енерговитрати та знос подрібнювального і збагачувального обладнання.

Ключевые слова: тонка класифікація, зневоднення, подрібнена уранова руда, відходи переробки, полічастотні грохоти.

Одними із основних процесів збагачення уранових руд є подрібнення кусків руди у замкненому циклі. Процес подрібнення кусків уранової руди до кондиційної крупності (у середньому до 74 мкм) займає до 50–55 % трудових витрат у технології збагачення на фабриці [1-4].

При збагаченні відбиті куски уранової руди подрібнюють у середньому до 74 мкм для розкриття та подальшого вилуження урану із зерен з підвищеним його вмістом. Подрібнення руди в існуючих технологіях збагачення на фабриках здійснюється у замкненому циклі з класифікацією за крупністю часток подрібненої сировини у гідроциклонах. Така класифікація не забезпечує ефективного розділення часток за крупністю, оскільки у робочій зоні гідроциклона розділення часток здійснюється не тільки за розміром, а і за питомою вагою. Тому, при роботі гідроциклона у замкненому циклі подрібнення спостерігається тенденція збільшення відсотків зростків у зливні гідроциклона та переподрібнення зерен з підвищеним вмістом урану, так як ці зерна повертаються у млин з пісками гідроциклона. Це призводить до переподрібнення зерен та виникнення у замкнутому циклі так званого шламу, який збільшує енерговитрати на подрібнення та знос обладнання. Відповідно, розділення шламоутворюючих часток і видалення їх з технологічного циклу подрібнення на стадії максимального розкриття часток цінного компоненту та недопущення їх переподріблення, є важливою технологічною операцією.

Важливим також є максимальне зневоднення виділених часток перед операцією вилуження урану, оскільки волога зменшує ефективність цього процесу та збільшує витрати лужної сировини і, у подальшому, після вилуження урану, виділення пустої породи з лужного розчину та зневоднення часток для їх подальшої утилізації.

Таким чином, встановлення закономірностей, вдосконалення методів і засобів тонкої класифікації за крупністю і зневоднення подрібнених часток уранових руд з замкнутого циклу подрібнення та відходів їх переробки є актуальною науково-прикладною проблемою, що має суттєве значення для уранопереробної галузі.

Вирішення вказаних проблем вилучення кондиційних часток уранової руди із замкнутого циклу подрібнення при збагаченні її на фабриках, можливо за рахунок класифікації подрібненої руди на вібраційних грохотах з інтенсивним полічастотним збудженням ситових поверхонь для просівання. Інтенсифікація та адаптація вібровпливу до збільшення навантаження на робочий орган вібромеханізму, його полічастотне збудження, можливе при віброударному збудженні робочих органів [5, 6].

Метою роботи є вдосконалення методів і засобів тонкої класифікації за крупністю і зневоднення на віброситах подрібнених уранових руд та відходів їх переробки при віброударному полічастотному збудженні робочих органів для підвищення продуктивності переробки уранових руд.

З іноземних фахівців у створенні вібраційних грохотів для класифікації, у тому числі тонкодисперсних матеріалів, працюють спеціалісти таких фірм, як

“DERRICK Corporation” (США), “KROOSH Technologies” (Ізраїль), “Ревум”, “Уде”, ВМФ, АЕФ (Німеччина), Механобр, ІОТТ (Росія) та інші. Відмінною особливістю таких вібраційних механізмів є підвищений рівень прискорень і збудження нелінійних коливань їх робочих органів. Крім цього є й інші суттєві чинники, які впливають на ефективність технологічних операцій, що здійснюють ці вібраційні машини. Наприклад, конструктивні особливості вібраційного приводу, поверхонь для просівання, характеристики їх коливань, конструкція самих механізмів та ін. Провідні позиції з розробки таких вібромеханізмів займають “DERRICK Corporation” (США) та “KROOSH Technologies” (Ізраїль). Так, фахівці “KROOSH Technologies” займаються розробкою та створенням вібраційних грохотів з полічастотним збудженням ситових поверхонь, дослідженням та встановленням закономірностей процесів класифікації тонкодисперсних матеріалів. Фахівці “DERRICK Corporation” (США), у свою чергу, займаються створенням високочастотних грохотів для тонкої класифікації сипких середовищ.

Із вітчизняних наукових організацій значний внесок у теорію та практику вібраційних процесів транспортування, навантаження сипких середовищ, випуску відбитих руд, класифікації тонкодисперсних матеріалів мають фахівці Гіпромашзбагачення, УкрНДІвуглезбагачення, Гіпромашвуглезбагачення, ЗАТ “Луганський машинобудівний завод”, ДП “СхідГЗК” та інші.

Одне з провідних місць в цій галузі займає ІГТМ НАН України, фахівцями якого розроблені теоретичні основи розрахунку параметрів вібраційних транспортно-технологічних машин, у тому числі, грохотів для тонкого розділення, досліджені та встановлені закономірності вібраційних процесів переміщення і класифікації сипких матеріалів.

Незважаючи на значну кількість досліджень у напрямку створення теоретичних основ та вібраційних машин для вищеназваних процесів, до цього часу не повною мірою вивчені закономірності тонкої класифікації за крупністю і зневоднення на вібростатах подрібнених уранових руд та відходів їх переробки. Не розроблено на їх базі методів розрахунку параметрів тонкої класифікації за крупністю і зневоднення подрібнених уранових руд та відходів їх переробки, що дозволило б розробити рекомендації щодо підвищення продуктивності та безпеки робіт при переробці уранових руд.

Проведено аналіз факторів, що впливають на продуктивність тонкої класифікації та зневоднення подрібнених уранових руд і відходів їх переробки у процесах збагачення та утилізації.

Сучасні технології переробки руд корисних копалин, у тому числі і уранових, вимагають значного їх подрібнення для розкриття і подальшого виділення часток з підвищеним вмістом тонковкраплених корисних компонентів. Як правило подрібнення відбувається у замкнутому циклі з виділенням кондиційних часток з найбільшим вмістом урану (біля 74 мкм) у батареях гідроциклонів. Така класифікація не забезпечує ефективного розділення часток за крупністю, оскільки у робочій зоні гідроциклона

розділення часток здійснюється не тільки за крупністю, а і за питомою вагою. У зв'язку з чим, при роботі у замкнутому циклі подрібнення у зливні з гідроциклону спостерігається тенденція наявності вмісту більш крупних часток, чим 74 мкм, що вміщують зерна корисного компоненту і пустої породи (так звані зростки) і переподрібнення кондиційних зерен з підвищеним вмістом урану, які повертаються у млин з пісками гідроциклону. Це призводить до виникнення у замкнутому циклі шламу, виділення якого з циклу утруднено, та пов'язано з підвищеними витратами енергії на подрібнення і зносом обладнання. Крім того, при подальшому збагаченні часток руди з підвищеним вмістом породи (зростків) збільшуються витрати лужної рідини для вилуження урану, втрати урану з відходами внаслідок неповного вилуження і обсяги небезпечних відходів, що потребують захоронення, та довготривалого зберігання. Відповідно, переподрібнення кондиційних та підвищення вмісту не кондиційних часток у виділеній руді для подальшого вилуження урану є результатом неефективної класифікації у гідроциклонах. Тому, виділення шламоутворюючих часток з технологічного процесу на стадії максимального розкриття зерен цінного компоненту та недопущення їх переподрібнення є важливою технологічною операцією.

Важливим також є максимальне зневоднення виділених кондиційних часток уранових руд із замкнутого циклу подрібнення, оскільки вологість збільшує витрати лужної рідини на вилуження урану. Після вилуження важливим є виділення та зневоднення твердих залишків з лужного розчину для подальшої їх утилізації, наприклад, в якості матеріалу для закладки відпрацьованих виробок рудників.

Виділення часток з тонковкрапленими зернами урану із замкнутого циклу подрібнення і їх зневоднення та виділення і зневоднення твердих відходів збагачення із лужного розчину після вилуження урану можливе на вібраційних грохотах. Використання типових грохотів для цих процесів неефективно, оскільки на них неможливо якісно здійснювати виділення та зневоднення тонкодисперсних часток подрібнених уранових руд крупність яких складає біля 74 мкм.

У передових технологіях збагачення руд в циклі подрібнення–класифікація для виділення кондиційних тонкодисперсних часток використовуються високочастотні вібраційні грохоти корпорації Derrick (США) [7-9]. Особливістю таких грохотів є раціональне використання активної поверхні грохота для просівання, що полягає у розподіленні на потоки і подачі тонкого шару пульпи на багатоярусні поверхні для просівання, збільшуючи, тим самим, активну поверхню грохота та його продуктивність. Крім того, ефективно виділення тонкодисперсних часток з пульпи на такому грохоті забезпечується за рахунок спеціальних ситових поліуретанових поверхонь, в отворах яких не застрягають частки критичної крупності, та оригінального високочастотного інерційного вібраційного приводу. Грохоти впроваджені на ряді гірничорудних підприємств у США, Норвегії, Канади, Росії та ін. З усіх високочастотних

грохотів Derrick, які працюють на комбінатах, біля 45 % використовуються для виділення зростків з концентратів, що дозволяє продукувати концентрати з узгодженими параметрами по крупності і вмістом породи. Грохоти Derrick не знайшли використання на вітчизняних підприємствах так-як їх вартість суттєва та сягає декількох сотень тис. дол. США.

Зважаючи на вищенаведене при збагаченні уранових руд для підвищення ефективності важливим є виділення із замкнутого циклу подрібнення кондиційних часток з найбільшим вмістом урану і недопущення їх переподрібнення. Це дозволить зменшити переподрібнення кондиційних часток руди у замкнутому циклі, підвищити продуктивність технологічного ланцюгу (секцій) подрібнення за рахунок більш ефективного використання потужностей кульових млинів, зменшити енерговитрати та знос подрібнювального і збагачувального обладнання та витрати лужного розчину при вилуженні урану.

Необхідно забезпечити мінімальну вологість твердих відходів після вилуження урану, що буде сприяти максимальному виходу урану з розчином після вилуження та забезпечить мінімальну шкідливість твердих відходів для навколишнього середовища.

В існуючих технологіях збагачення урану на фабриках виділення тонкодисперсних часток із замкнутого циклу подрібнення здійснюється у батареях гідроциклонів на яких неможливо ефективно виділяти кондиційні частки з найбільшим вмістом урану, оскільки класифікація у гідроциклонах здійснюється не тільки за крупністю, а й за питомою вагою. Тому, на збагачення для вилуження урану надходять некондиційні частки, так звані, зростки, з підвищеним вмістом пустої породи, а в замкнутий цикл з пісками гідроциклонів направляються кондиційні частки, що призводить до подальшого їх переподрібнення. Це сприяє виникненню і циркуляції у замкнутому циклі шламу, який важко видаляється з циклу.

Відповідно на продуктивність та ефективність вилучення кондиційних часток з найбільшим вмістом урану із замкнутого циклу подрібнення уранових руд при їх збагаченні на фабриці, зневодненні, тонкої класифікації та зневоднення відходів переробки у процесах збагачення та утилізації впливають наступні фактори:

- неефективне виділення кондиційних часток з найбільшим вмістом урану із замкнутого циклу подрібнення у батареях гідроциклонів;

- наявність у виділеному із замкнутого циклу матеріалу для вилуження урану часток з підвищеним вмістом породи, так званих, зростків, що призводить до перевитрат лужного розчину та можливих втрат урану з відходами збагачення;

- втрати з пісками гідроциклонів кондиційних часток та повернення їх у цикл подрібнення, що призводить до переподрібнення цих часток та утворення у замкнутому циклі, так званого, шламу який важко видаляється з циклу, є причиною значного підвищення енерговитрат на подрібнення і зносу обладнання;

- з причини недостатнього зневоднення підвищений вміст вологи у виділених частках подрібненої руди, що призводить до перевитрат лужної речовини, та збільшення вмісту лужного розчину у твердих відходах збагачення, що призводить до його втрат і збільшення радіаційного фону відходів.

Розроблено пропозиції щодо вдосконалення методів і засобів тонкої класифікації за крупністю та зневоднення на віброситях подрібнених уранових руд і відходів їх переробки.

Для виділення із замкнутого циклу кондиційних часток подрібненої руди доцільно використовувати вібраційні полічастотні грохоти МВГ, які створені в Інституті геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України [10-12]. Грохоти МВГ призначені для класифікації сипких матеріалів і виділення твердих часток з пульп чи суспензій по їх крупності від декількох мікрон до міліметрів. Процес розділення на грохоті відбувається на багат шарових ситових поверхнях, які здійснюють полічастотні коливання з прискореннями у сотні м/с^2 та з діапазоном частот від декількох Гц до кГц. Такий характер коливань забезпечує ефективне просівання тонкодисперсних часток через отвори сит за рахунок відсутності застрягань часток критичного розміру в отворах та налипання часток до поверхонь сит, що є причиною неефективного просівання тонких сипких середовищ через сита на типових вібраційних грохотах. Значні прискорення та полічастотні коливання сит забезпечують постійну і повну їх очистку при розділенні тонкодисперсних часток на грохотах МВГ. Просівання на грохотах МВГ здійснюються через полімерні або сталеві ткани сита. Крім цього можуть встановлюватись гумові сита з розмірами отворів від 100 мкм, що дозволяє збільшити їх експлуатаційну довговічність.

Колівання сит у грохотах МВГ здійснюється від дебалансних інерційних віброзбудників, що використовуються у типових вібраційних грохотах. Віброзбудники закріплюються на коробі грохота. При їх збудженні гармонійні коливання коробка з прискореннями не більше декількох десятків м/с^2 у пружно-механічних віброударних системах, що також закріплені на коробі, перетворюються на полічастотні та посилюються до сотень м/с^2 і через робочі органи (ударники) передаються на сита і сипке середовище, що розділяється. Підсилення коливань ударників до сотень м/с^2 відбувається за рахунок резонансних явищ у віброударних системах грохота. При цьому, коливання зі значним прискоренням у грохоті здійснюють тільки ударники та сита з сипким матеріалом, а інші вузли грохота коливаються з прискореннями до десятків м/с^2 , що забезпечує їх надійність та довговічність. На відміну від типових вібраційних грохотів, тонке сито на грохоті МВГ встановлено без натягу, що у свою чергу, забезпечує його відносно довговічність. Оскільки грохоти МВГ є двомасними зарезонансними динамічними системами, то динамічні навантаження від коливань коробка урівноважуються коливаннями ударників і практично не передаються на опорну поверхню, на якій встановлено грохот, що забезпечує їх установку без закріплення на цій поверхні, у тому числі на

перекриттях споруд і будівель, та необхідності спорудження спеціальних фундаментів.

На рис. 1 наведено фрагмент осцилограми прискорень коливань ударника грохота при синхронній круговій частоті обертання асинхронного електродвигуна і силі збудження інерційного віброзбудника коливань, відповідно, рівних 157 рад/с та 13,5 кН.

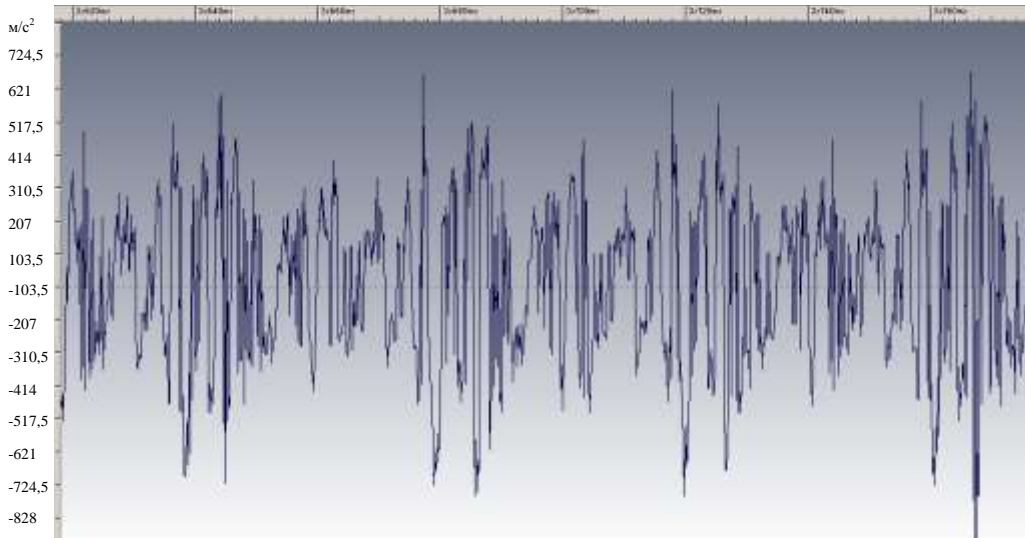


Рисунок 1 – Фрагмент осцилограми коливань ударника грохота

Аналіз осцилограми показує, що ударник грохота здійснює полічастотні коливання з амплітудою прискорень більш ніж 600 м/с^2 . При цьому, гармонійні прискорення короба грохота не перевищують прискорень у 20 м/с^2 . Таке підсилення коливань ударника забезпечується завдяки виникненню резонансів у пружно-механічних віброударних системах і перетворенню гармонійних коливань короба грохота у полічастотні коливання ударника. Про це свідчить спектральний аналіз коливань, що наведений на рис. 2.

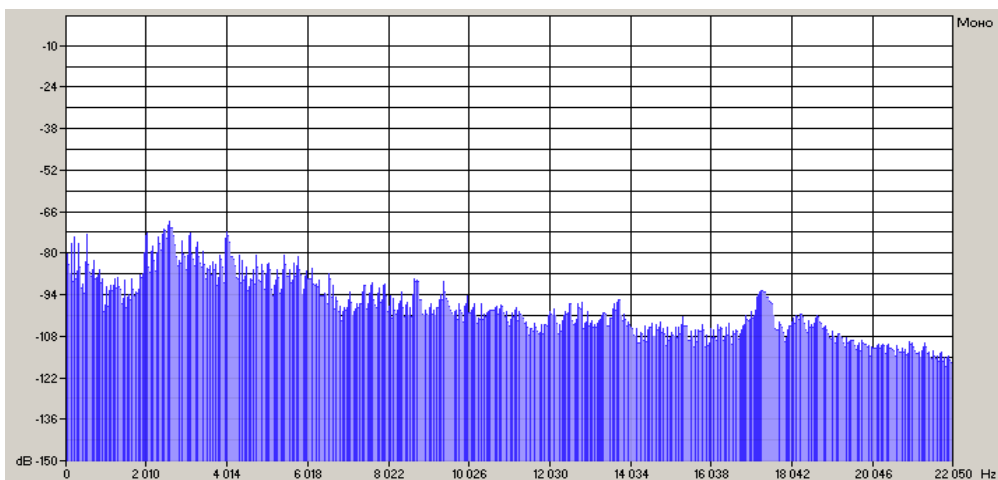


Рисунок 2 – Спектрограма прискорень коливань ударника грохота

Спектр є суцільний і у зміні амплітудних значень прискорень на частотах збуджень відсутня будь яка закономірність. Такий спектр є характерним для неперіодичних коливань і, відповідно, ударник грохота здійснює неперіодичні або хаотичні коливання. При цьому амплітуди прискорень коливань на деяких частотах перевищують амплітуду прискорень на частоті примусового збудження, що свідчить про резонансне підсилення коливань ударника.

Проведений аналіз показує, що в результаті віброударного впливу в ударнику грохота збуджуються складні коливальні форми, що залежать від параметрів впливу і механічних характеристик віброударної системи грохота. До задач досліджень відноситься вибір таких раціональних параметрів коливань і параметрів віброударної системи грохота, які б забезпечили відсутність застрягання часток критичної крупності в отворах і їх налипання до поверхні сит, а також ефективну класифікацію часток по крупності.

Полічастотні коливання сит і сипкого середовища, що розділяється з прискореннями у сотні m/s^2 і значними енергіями, забезпечують виникнення резонансних явищ у різних резонансних системах з пружно-відновлювальними силами, наприклад, у системі частка, що застрягла в пружному отворі сита, або, що прилипла під дією сил адгезії до його поверхні, таких, наприклад, як сил поверхневого натягу рідини. Ці резонансні явища забезпечують звільнення частки, що застрягла або прилипла до його поверхні, з отвору сита і, відповідно, постійну очистку сит.

Розроблені математичні моделі грохота, які, у тому числі враховують вплив несиметрії його параметрів та обмежену потужність джерела віброзбудження на динаміку і дозволяють вибирати раціональні параметри при проектуванні грохота.

Досвід використання вібраційних полічастотних грохотів у різних технологіях переробки тонких фракцій мінеральної сировини свідчить про високу ефективність їх роботи [10, 11]. Є позитивний досвід експлуатації грохотів у технологіях: виділення тонких часток з шламових продуктів вуглезбагачення за класами крупності -200, -100 і -71 мкм (рис. 3); очистки бурових розчинів на буровій установці К-160 від вибурених часток за крупністю -20 та -70 мкм (рис. 4); розділення золи-виносу ТЕС за крупністю часток -40 мкм, які, в основному, вміщують вуглець, що не згорів; контрольного розділення каоліну сухого збагачення за крупністю часток -200 мкм; розділення порошку електрокорунду крупністю 0–1,0 мм на сітках з розміром отворів 100, 200, 400, 500 та 630 мкм; збагачення поліметалічних руд за крупністю часток -40, -100 та -200 мкм; очистки технологічної рідини у агропромисловому комплексі та зневоднення барди післяспиртової та ін.

Зважаючи на вищенаведене при віброударному полічастотному збудженні робочого органу та ситових поверхонь вібраційного полічастотного грохоту МВГ можливе ефективне виділення шламоутворюючих часток з технологічного циклу подрібнення на стадії максимального розкриття часток уранових руд,

зневоднення виділених часток та виділення і зневоднення пустої породи з лужного розчину для подальшої її утилізації [12].



Рисунок 3 – Грохот МВГ у технологічному ланцюзі ЦЗФ «Павлоградська»



Рисунок 4 – Грохот МВГ в технології очистки бурового розчину на буровій „Володарська-2” ПАТ „Шахта О.Ф. Засядька”

У технологічних схемах збагачення уранових руд вібраційні полічастотні грохоти можуть встановлюватись для виділення некондиційних часток перед вилуженням урану, для підвищення ефективності вилуження та зменшення витрат лужного розчину, або, взагалі, для заміни гідроциклонів у замкнутому циклі подрібнення. Це дозволить зменшити переподрібнення кондиційних часток руди у замкнутому циклі, підвищити продуктивність технологічного ланцюгу (секцій) подрібнення за рахунок більш ефективного використання потужностей кульових млинів, зменшити енерговитрати та знос подрібнювального і збагачувального обладнання.

Висновки.

- в існуючих технологіях збагачення уранових руд на фабриках переподрібнення кондиційних часток у замкнутому циклі подрібнення та підвищення вмісту некондиційних часток у виділеній руді для подальшого вилуження урану є результатом неефективної класифікації у гідроциклонах:

- виділення шламоутворюючих часток з технологічного процесу на стадії максимального розкриття зерен цінного компонента та недопущення їх переподрібнення є важливою технологічною операцією;

- важливим є максимальне зневоднення виділених кондиційних часток уранових руд із замкнутого циклу подрібнення, оскільки вологість збільшує витрати лужної рідини на вилуження урану та виділення і зневоднення твердих залишків з лужного розчину для подальшої їх утилізації, наприклад, в якості матеріалу для закладки відпрацьованих виробок рудників;

- виділення часток з тонковкрапленими зернами урану із замкнутого циклу подрібнення і їх зневоднення та виділення і зневоднення твердих відходів збагачення із лужного розчину після вилуження урану можливе на вібраційних грохотах. Використання типових грохотів для цих процесів неефективно, оскільки на них неможливо якісно здійснювати виділення та зневоднення тонкодисперсних часток подрібнених уранових руд крупність яких складає біля 74 мкм;

- для виділення із замкнутого циклу кондиційних часток подрібненої руди можливо використовувати вібраційні полічастотні грохоти МВГ, які створені в Інституті геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, та призначені для класифікації сипких матеріалів і виділення твердих часток із пульп чи суспензій по їх крупності від декількох мікрон до міліметрів;

- при віброударному полічастотному збудженні робочого органу та ситових поверхонь вібраційного полічастотного грохоту МВГ можливе ефективне виділення шламоутворюючих часток з технологічного циклу подрібнення на стадії максимального розкриття часток уранових руд, зневоднення виділених часток та виділення і зневоднення пустої породи з лужного розчину для подальшої її утилізації;

- процес розділення на грохоті МВГ відбувається на багатошарових ситових поверхнях, які здійснюють полічастотні коливання з прискореннями у сотні m/s^2 та з діапазоном частот від декількох Гц до кГц. Такий характер коливань

забезпечує ефективне просівання тонкодисперсних часток через отвори сит за рахунок відсутності застрягань часток критичного розміру у отворах та їх налипання до поверхонь сит, що є причиною неефективного просівання тонких сипких середовищ через сита на типових вібраційних грохотах;

- у технологічних схемах збагачення уранових руд вібраційні полічастотні грохоти можуть встановлюватись для виділення некондиційних часток перед вилуженням урану, для підвищення ефективності вилуження та зменшення витрат лужного розчину, або, взагалі, для заміни гідроциклонів у замкнутому циклі подрібнення. Це дозволить зменшити переподрібнення кондиційних часток руди у замкнутому циклі, підвищити продуктивність технологічного ланцюгу (секцій) подрібнення за рахунок більш ефективного використання потужностей кульових млинів, зменшити енерговитрати та знос подрібнювального і збагачувального обладнання.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Справочник по редким металлам. Перевод с английского. – М.: Мир, 1965 г. – 945 с.
2. Справочник по обогащению руд черных металлов / под ред. С.Ф. Шинкоренко. - М.: Недра, 1980. – 527 с.
3. Справочник по обогащению руд. Подготовительные процессы / под ред. О.С. Богданова, В.А. Олевского. 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Недра, 1982. – 366 с.
4. Андреев, Е.Е. Дробление, измельчение и подготовка сырья к обогащению: учебник / Е.Е. Андреев, О.Н. Тихонов. – СПб: СПбГГИ, 2007. – 439 с.
5. Пат. 45544 Україна, МПК В07В 1/42. Привід полічастотного грохота / Булат А.Ф., Шевченко Г.О., Шевченко В.Г. – № u200906845; заявл. 30.06.09 ; опубл. 10.11.09, Бюл. № 21, 2009 р.
6. Шевченко, Г.А. Исследования режимов колебаний виброударного осциллятора / Г.А. Шевченко, А.А. Бобылёв, М.А. Ищук // Вібрації в техніці та технологіях. –2012. – № 1 (65). – С. 56–59.
7. Веннен, Дж. Опыт применения вибрационных грохотов корпорации DERRICK при обогащении железных руд / Дж. Веннен, Н. Тране, В.Ю. Лелис // Горный журнал. - 2002. - № 3. – С. 60 – 65.
8. Борис, М.Е. Тонкое грохочение в технологии обогащения минерального сырья / М.Е. Борис // Каталог-справочник «Горная Техника», 2005. – С. 10-16.
9. Борис, М.Е. Обогащение мелких фракций с применением техники DERRICK, предлагаемой компанией THRANE ТЕКНИК / М.Е. Борис // Глюкауф, 2010. – №1. – С. 27 – 30.
10. Шевченко, Г.А. Поличастотные грохоты для разделения тонких сыпучих материалов / Г.А. Шевченко, В.Г. Шевченко, А.Р. Кадыров // Збагачення корисних копалин. – Дніпропетровськ: НГУ, 2009. – Вип. 38 (79). – С. 44 – 50.
11. Булат, А.Ф. Технология классификации тонких фракций измельченной железной руды для повышения качества концентратов / А.Ф. Булат, В.Г. Шевченко, Г.А.Шевченко // Відомості Академії гірничих наук України. – 2016. - № 7. – С. 35-39.
12. Шевченко, В.Г. Методические рекомендации по применению ресурсосберегающих технологий и средств тонкой классификации по крупности и обезвоживания отходов урановых руд / В.Г. Шевченко, Г.А. Шевченко, Г.Б. Лебедь // Mining of mineral deposits. - 2016. - № 10, Т.1. – С. 69-76.

REFERENCES

1. *Spravochnik po redkim metallam* [Reference book on rare metals] (1965), Mir, Moscow, SU.
2. Shinkorenko, S.F. (1980), *Spravochnik po obogascheniyu rud chernykh metallov* [Reference book on the ore-dressing black metals], Nedra, Moscow, SU.
3. Bogdanov, O.S., and Olevskiy, V.A. (1982), *Spravochnik po obogascheniyu rud. Podgotovitelnyie protsessy* [Reference book on the ore-dressing. Preparatory processes], 2nd ed., Nedra, Moscow, SU.

4. Andreev, E.E. and Tikhonov, O.N. (2007), *Droblenie, izmelchenie i podgotovka syrya k obogashcheniyu: uchebnik* [Crushing, growing shallow and preparation of raw material to enrichment: textbook], SPbGTI, St. Petersburg, RU.
5. Bulat, A.F., Shevchenko, G.A. and Shevchenko V.G., Zayavitel i patentosobstvennik avtory patenta, *Privod polichastotnogo grokhota* [Drive of poly-frequency screen], UA, Pat. 45544.
6. Shevchenko, G.A., Bobyljov, A.A. and Ishhuk, M.A. (2012), «Researches of the modes vibrations of vibro-percussive oscillator», *Vibratsiï v tehnici ta tehnologiyakh*, vol. 1(65), pp. 56–59.
7. Vennen, Dzh., Trane, N. and Lelis, V.Yu. (2002), «Experience of application of vibrations to the screens corporation DERRICK at enrichment of iron-stones», *Gornyy zhurnal*, vol. 3, pp. 60–65.
8. Boris, M.E. (2005), «Thin screening in technology of enrichment of mineral raw material», *Katalog-spravochnik «Gornaya Tekhnika»*, pp. 10-16.
9. Boris, M.E. (2010), «Enrichment of shallow factions with the use of the DERRICK technique, by the offered company THRANE TEKNIKK», *Glyukauf*, vol. 1, pp. 27–30.
10. Shevchenko, G.A., Shevchenko, V.G. and Kadyirov, A.R. (2009), «Poly-frequency screens for the division of thin friable materials», *Zbagachennya korisnih kopalyn*, NGU, Dnepropetrovsk, vol. 38(79), pp. 44–50.
11. Bulat, A.F., Shevchenko, V.G. and Shevchenko, G.A. (2016), «Technology of classification of thin factions of the ground iron-stone up for upgrading concentrates», *Vidomosti Akademii girnichykh nauk Ukrainy*, vol. 7, pp. 35-39.
12. Shevchenko, V.G., Shevchenko, G.A. and Lebed, G.B. (2016), «Methodical recommendations on application of resource-saving technologies and facilities of thin classification on a largeness and dehydration of wastes of uranium ores», *Mining of mineral deposits*, vol. 10 (1), pp. 69-76.

Про авторів

Шевченко Володимир Георгійович, доктор технічних наук, старший науковий співробітник, вчений секретар, Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України (ІГТМ НАН України), Дніпро, Україна, V.Shevchenko@nas.gov.ua.

Шевченко Георгій Олександрович, доктор технічних наук, старший науковий співробітник, завідуючий лабораторії вібраційної обробки мінеральної сировини, Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України (ІГТМ НАН України), Дніпро, Україна, gashevchenko@ua.fm.

Лебідь Геннадій Борисович, магістр, провідний інженер-конструктор, Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України (ІГТМ НАН України), Дніпро, Україна.

Суценко Олександр Іванович, магістр, інженер-конструктор I кат., Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України (ІГТМ НАН України), Дніпро, Україна.

About the authors

Shevchenko Volodymyr Georgiyovych, Doctor of Technical Sciences (D. Sc), Senior Researcher, Scientific Secretary of the Institute, N.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnipro, Ukraine, V.Shevchenko@nas.gov.ua.

Shevchenko Georgiy Oleksandrovych, Doctor of Technical Sciences (D. Sc.), Senior Researcher, Head of Laboratory of Vibratory Processing of Mineral Raw Materials, N.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Science of Ukraine (IGTM, NASU), Dnipro, Ukraine, gashevchenko@ua.fm

Lebed Gennady Borysovych, Master of Science, Senior Design Engineer, N.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Science of Ukraine (IGTM, NASU), Dnipro, Ukraine.

Sushchenko Olersandr Ivanovych, Master of Science, Design Engineer 1st cat., N.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Science of Ukraine (IGTM, NASU), Dnipro, Ukraine.

Аннотация. Для выделения из замкнутого цикла кондиционных частиц измельченной урановой руды предложено использовать вибрационные поличастотных грохоты, предназначенные для классификации сыпучих материалов и выделения твердых частиц из

пульп или суспензий по крупности от нескольких микрон до миллиметров. При виброударных поличастотных возбуждениях рабочего органа и ситовых поверхностей вибрационного поличастотных грохота МВГ возможно эффективное выделение шламообразующих частиц из технологического цикла измельчения на стадии максимального раскрытия зерен урановых руд, обезвоживание выделенных зерен и выделение и обезвоживание пустой породы из щелочного раствора для дальнейшей ее утилизации. В технологических схемах обогащения урановых руд вибрационные поличастотные грохоты могут устанавливаться для выделения некондиционных частиц перед выщелачиванием урана, для повышения эффективности выщелачивания и уменьшения расхода щелочного раствора или вообще для замены гидроциклонов в замкнутом цикле измельчения. Это позволит уменьшить переизмельчение кондиционных частиц руды в замкнутом цикле, повысить производительность технологической цепочки (секций) измельчения за счет более эффективного использования мощностей шаровых мельниц, уменьшить энергозатраты и износ дробильного и обогатительного оборудования.

Ключевые слова: тонкая классификация, обезвоживание, измельченная урановая руда, отходы переработки, поличастотных грохоты.

Annotation. To separate conditioned particles of the crushed uranium ore from the closed cycle, it is proposed to use vibrating multifrequency screens designed for classification of bulk materials and separation of solid particles from the pulps or slurries by their size ranging from few microns to millimeters. With shock-vibrating multifrequency excitations of the tool and screen surfaces of the vibrating multifrequency screen МВГ, it is possible to separate, with good effectiveness, sludge-forming particles from technological grinding cycle at the stage of maximum opening of uranium ore grains, dehydration of the separated grains and separation and dehydration of the waste rocks from the alkaline solution for further utilization. In technological schemes for enriching uranium ores, vibrating multifrequency screens can be installed in order to separate substandard particles prior to uranium leaching, to improve leaching efficiency and reduce consumption of alkaline solution, or, generally, to be used instead of hydrocyclones in the closed grinding cycle. This can reduce over-crushing of conditioned ore particles in the closed cycle, increase productivity of technological chain (sections) of grinding due to more effective use of ball mill power, reduce energy costs and wear of mineral crushing and processing equipment.

Keywords: fine classification, dewatering, crushed uranium ore, processing waste, multifrequency screens.

Стаття поступила до редакції 25.11.2017

Рекомендовано до друку д-ром техн. наук, проф. Дирдою В.І.