

УДК 622.7.017 : 622.765

Г. В. ГУБІН, В. С. МОРКУН, Т. А. ОЛІЙНИК, доктори техн. наук, професори,  
В.В. ТРОНЬ, канд. техн наук, доц., Криворізький національний університет  
В. О. РАВІНСЬКА, ВАТ «Полтавський ГЗК»

## ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ТОВАРНОЇ ПРОДУКЦІЇ ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ ВИСОКОЕНЕРГЕТИЧНОГО УЛЬТРАЗВУКУ

**Актуальність.** Залізорудна магнетитова сировина, що видобувається в Україні характеризується складною текстурою, структурою, підвищеним вмістом шкідливих домішок, таких як діоксид кремнію, оксиди калію, натрію, магнію і сірки. При цьому вимоги до якості залізорудних концентратів, що надходять на подальшу металургійну переробку, зростають, оскільки висока якість магнетитових концентратів дозволяє значно скоротити витрати в металургійному виробництві.

**Метою роботи** є розробка заходів з підвищення якості товарної продукції ВАТ «Полтавський ГЗК» за рахунок використання високоенергетичного ультразвуку для формування чистої поверхні мінеральних часток і, як наслідок, удосконалення технології флотаційного доведення магнетитових концентратів.

**Методи дослідження.** Виконано моделювання і аналіз ефектів високоенергетичного ультразвуку; технологічні випробування в лабораторних умовах; синтез аналітичних закономірностей і обґрунтування раціональних параметрів процесу флотаційного доведення магнетитових концентратів. Для підвищення ефективності очищення поверхонь мінералів запропоновано здійснювати попередню обробку залізорудної пульпи за допомогою високоенергетичного ультразвуку.

**Наукова новизна.** Уперше для дезінтеграції рудних флокулоутворень перед флотаційним збагаченням розроблено метод попередньої обробки залізорудної пульпи, який засновано на виникненні кавітаційних процесів у повітряній бульбашки за допомогою динамічних ефектів високоенергетичного ультразвуку, що дозволяє збільшити ефективність очищення від шламових часточок поверхонь мінералів живлення флотації первинних концентратів в 1,8 рази.

**Практична значимість.** Дослідження способів формування високоенергетичного ультразвуку, а також моделювання і аналіз його динамічних ефектів при впливі на рудну пульпу дозволили розробити метод зміння траєкторії руху часток певного класу крупності. Пропонується застосовувати конструкцію каналу впливу високоенергетичних ультразвукових коливань на потік пульпи, виконаного за технологією ультразвукової фазованої решітки. Визначено оптимальні значення інтенсивності і тривалості ультразвукової обробки при очищенні мінеральних часток. Доведено, що ефективність ультразвукової обробки пов'язана з оновленням поверхонь часток, що призводить до збільшення контрастності магнітних і флотаційних властивостей мінералів.

**Результати.** Встановлено, що ультразвукова обробка залізорудної пульпи в умовах Кременчуцького залізорудного району України дозволяє зменшити вміст шкідливих домішок: оксиду калію – з 0,19 до 0,035–0,04%, оксиду натрію – з 0,14 до 0,027 %.

**Ключові слова:** ультразвуковий вплив, очищення мінералів, залізна руда, кавітаційний режим, техногенні зростки.

doi: 10.31721/2306-5451-2018-1-46-169-174

**Проблема та її зв'язок з науковими і практичними задачами.** Україна займає одне з провідних місць у світі по запасам залізних руд та має потужну гірничорудну галузь [1]. Однією з актуальних завдань галузі є виробництво високоякісного концентрату і залізорудних окатишів. При цьому високоякісний концентрат повинен містити не тільки 68-70% заліза, але і не більше 2,5% кремнезему, 0,06–0,08 % сірки та не більше 0,3 % інших шкідливих домішок. Збільшення якості магнетитових концентратів можливо за рахунок видалення з поверхні мінералів налиплих шламових частинок та руйнування, так званих, техногенних зростків. Аналіз основних напрямів і підходів до цього питання показав, що застосування високоенергетичного ультразвуку певної інтенсивності для попередньої обробки залізорудної пульпи перед флотацією дозволяє збільшити вихід високоякісного концентрату внаслідок дезінтеграції рудних флокулоутворень. Тому удосконалення технології флотаційного доведення магнетитових концентратів внаслідок формування чистої поверхні мінеральних часток за рахунок використання високоенергетичного ультразвуку є актуальним науково-практичним завданням.

**Аналіз літературних даних та постановка проблеми.** Аналіз робіт [2-7] дозволив встановити основну причину забруднення концентратів. Її сутність полягає у погіршенні контрастності технологічних властивостей мінералів, що відбувається за рахунок магнітної флокуляції часток і утворення мікронних техногенних зростків. Механізм появи техногенних зростків пов'язаний в основному з наявністю на поверхні часток іонно-електричних і молекулярних полів. Аналіз розподілу заліза в класах крупності магнетитових концентратів показав, що класи крупності більше 0,05 (0,074) мм зазвичай містять менше 60 % заліза. При цьому у фракціях крупніше 0,1 мм масова частка заліза становить 20-30 %, тобто менше, ніж у вихідній руді. Значно

бідніші класи мінус 0,02 (0,03) мм. Мінералогічні дослідження показують, що ці класи засмічені значною кількістю нерудних зерен (фракція дрібніше 0,010 мм) і бідних зростків (фракція 0,01-0,03 мм). Незважаючи на високу ступінь розкриття (98 % класу мінус 0,01 мм і 89 % класу 0,01-0,03 мм), масова частка заліза в найтонших фракціях зазвичай не перевищує 10-30 % і ~ 50-60% відповідно. Таке засмічення тонких фракцій концентратів є закономірним і пояснюється, в основному значним зачепленням найтонших породних частинок, бідних зростків у флокули при магнітній сепарації. Багата частина концентратів (фракція 0,02-0,05 мм) містить зазвичай 68-69 % заліза. Такий розподіл заліза в магнетитових продуктах є наслідком їх намагнічування, при якому тонкі розкриті рудні частки переходять у більш крупні класи. Саме це підвищує в них концентрацію магнетиту. При намагнічуванні вихідний магнетитовий продукт зазнає ряд змін (флокули, що утворилися, відрізняються від початкових частинок розмірами, формою, пористістю, об'ємною масою і магнітними властивостями).

Якість залізовмісних концентратів пов'язана з руйнуванням і видаленням з поверхонь магнетиту, кварцу та силікатів мікронних техногенних зростків і дезінтеграцією вторинних збіднених рудних флокул. Підвищити металургійну цінність товарної продукції пропонується за допомогою ультразвуку.

Доведемо, що ефективність ультразвукової обробки пов'язана з оновленням поверхонь частинок, що призводить до збільшення контрастності магнітних і флотаційних властивостей мінералів.

Під дією ультразвуку в рідкому середовищі відбуваються фізичні, хімічні і фізико-хімічні процеси. Це кавітація, радіаційний тиск і акустичні потоки [8-11]. Процес кавітації пов'язаний з тим, що всі рідини дуже чутливі до розтягуючих зусиль. Під впливом потужних ультразвукових коливань в рідині виникають зони стиснення і розрідження. При проходженні фази хвилі, що створює розрідження, в рідині утворюється велика кількість розривів у вигляді кавітаційних бульбашок, які в наступній фазі стиснення різко закриваються.

В роботах [4, 8-11] показано, що кавітаційні процеси інтенсифікують процеси очищення поверхні рудних часток від плівок і налиплого забруднення. Так, при флотації мінералів у воді, попередньо обробленої ультразвуком, підвищується вилучення мінералів в пінний продукт порівняно з флотацією без попередньої обробки води. Для пояснення причин покращання результатів запропоновані три гіпотези:

- 1) ультразвук дозволяє здійснити селективне відділення часток;
- 2) ультразвукова кавітація може модифікувати поверхню мінеральних часток шляхом утворення мікро- або нано-бульбашок і сприяти закріпленню бульбашок-часток.
- 3) ультразвук може впливати на ймовірність зіткнення часток.

Таким чином, аналіз літературних джерел показав ефективність застосування ультразвуку для інтенсифікації процесів та вирішення окремих технологічних задач в збагаченні корисних копалин. Діапазон використання високоенергетичного ультразвуку великий і його можливості далеко не реалізовані. Перспективність використання акустичних методів відкриває можливість ефективної модернізації технологій збагачення.

**Мета дослідження.** Метою роботи є розробка заходів з підвищення якості товарної продукції ВАТ «Полтавський ГЗК» за рахунок використання високоенергетичного ультразвуку для формування чистої поверхні мінеральних часток і, як наслідок, удосконалення технології флотаційного доведення магнетитових концентратів.

**Результати досліджень.** Результати моделювання кавітаційних процесів для залізорудної сировини при впливі ультразвукового випромінювання з амплітудою імпульсу - 0,3 МПа, довжиною імпульсу – 2,5-5,5 циклу, частотою – 2,25-5 МГц надано в роботі [4, 12]. Математичний опис кавітаційних процесів в неоднорідній гетерогенному середовищі пристосований до флотаційного процесу збагачення залізних руд детально розглянуто в роботі [12]. Результати моделювання впливу ультразвукового сигналу в середовищі наведено в роботі [4].

Для створення моделі впливу високоенергетичного ультразвуку на потік пульпи необхідно виконати розрахунок пристрою формування високоенергетичного ультразвуку з керованими параметрами. Характер зміни концентрації часток і розподілення їх за розмірами в полі високоенергетичного ультразвуку залежить від щільності самих часток, частоти та інтенсивності впливає випромінювання.

Розрахунок потужності високоенергетичного ультразвуку, яка дозволяє здійснювати про-

гнозоване зміщення часток подрібненої руди певної маси в потоці пульпи здійснювався на основі отриманих результатів дослідження [4] поширення фронту ультразвукового імпульсу за допомогою пакета HIFUSimulatorv1.2 [13]. Результати розрахунку наведено на рис. 1-6.

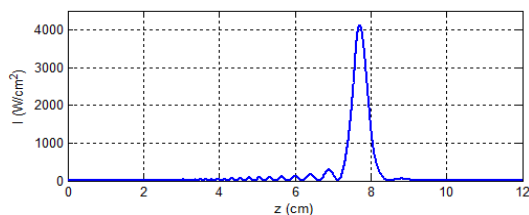


Рис. 1. Радіальна інтенсивність у фокусі ультразвукового випромінювання

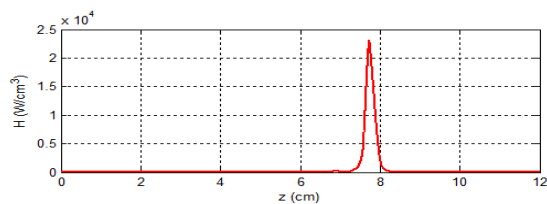


Рис. 2. Потужність в фокусі ультразвукового випромінювання

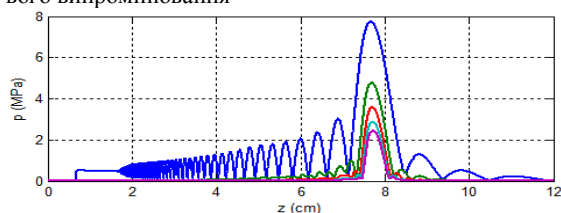


Рис. 3. Осеве розподіл тиску п'яти перших гармонік ультразвукового випромінювання

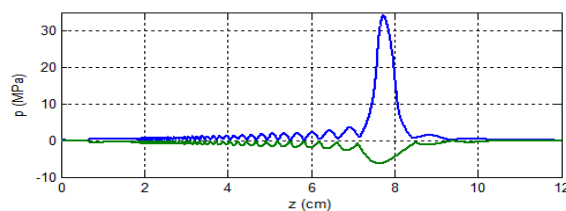


Рис. 4. Осеві піки тиску в ультразвуковому випромінюванні

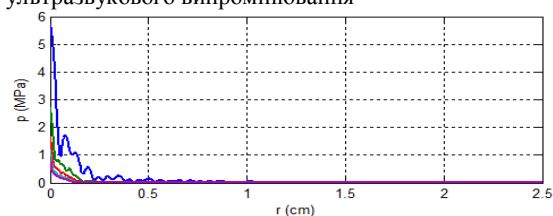


Рис. 5. Розподіл радіального тиску п'яти перших гармонік у фокусі ультразвукового випромінювання

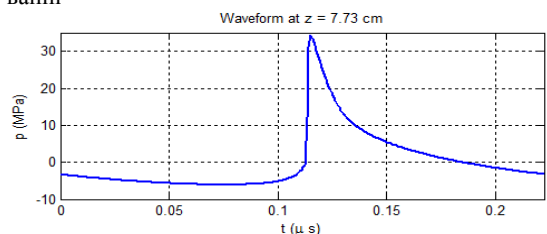


Рис. 6. Форма ультразвукової хвилі по осі випромінювання на відстані ( $z = 7,73$  см), відповідному пікової інтенсивності

При збільшенні інтенсивності високоенергетичного ультразвуку від нуля до певного значення і постійної швидкості потоку пульпи в зону вимірювань можуть бути зміщені всі або тільки окремі класи крупності подрібненого матеріалу.

Дослідження способів формування високоенергетичного ультразвуку, а також моделювання і аналіз його динамічних ефектів при впливі на рудну пульпу дозволили розробити метод змінення траєкторії руху часток певного класу крупності. Пропонується застосовувати конструкцію каналу впливу високоенергетичних ультразвукових коливань на потік пульпи, виконаного за технологією ультразвукової фазованої решітки [3, 4]. Ультразвукова фазована решітка розглядається як безліч точкових джерел ультразвуку, розташованих на однаковій відстані ( $d$ ) один від одного. Оптимальною кількістю елементів, з точки зору покращення показника направленості фазованої решітки та вартості її виготовлення, є 16. В результаті моделювання та розрахунку [3, 4], отримано оптимальне значення відстані між елементами ультразвукової фазованої решітки, яке дорівнює  $d_{cr} = 0,45$  мм.

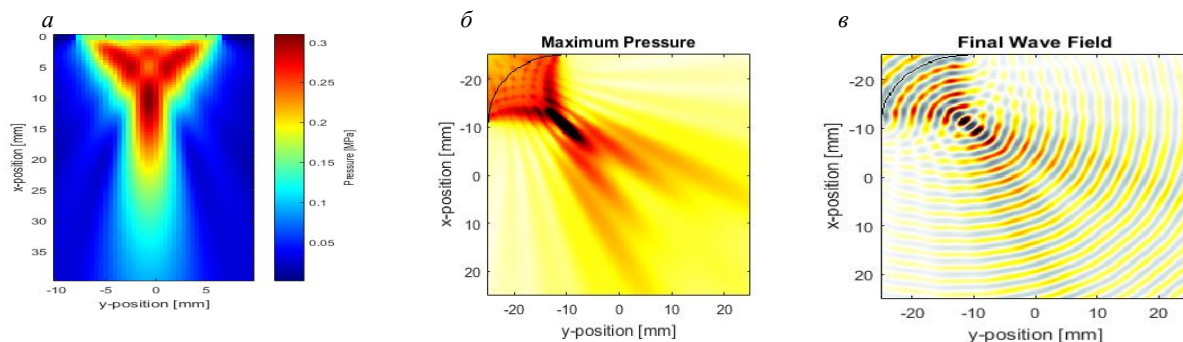
Результати моделювання впливу високоенергетичного ультразвукового випромінювання на пульпу наведено на рис. 7.

Для підтвердження результатів моделювання було відібрано проби продуктів з технологічних потоків магнітно-флотаційного збагачення тонко та вельми тонковкраплених магнетитових кварцитів Кременчуцького залізорудного району.

Проби оброблялись з використанням імпульсного магнітного поля спадної напруженості та високоенергетичного ультразвуку в кавітаційному режимі, модульованого високочастотними імпульсами. Подрібнення у вертикальному млині розкриває зростки нерудних мінералів з магнетитом у вигляді часток різної крупності.

Матеріал розвантаження млина характеризується великим вмістом нерудних мінералів: кварц – 12,5 %, кумінгтоніт – 5,3 %, карбонат – 4,9 %, егірін і рибекіт – 2 %, гідроксиди заліза – 2,2 %. Нерудні мінерали представлені мікродисперсними мінеральними утвореннями. Вміст в матеріалі складає 24–26 %. Щільність цих нерудних мінералів у порівнянні з магнетитом або

гематитом менше в 1,5–2 рази. Тобто, продукт розвантаження млина є сумішшю мінеральних рудних і нерудних зерен з об'ємним співвідношенням їх  $\sim 2:1$ . Такий продукт є складним і за крупністю і за співвідношенню рудних і нерудних мінералів для процесів розділення в магнітних полях і вимагає застосування багато стадійного збагачення. Як показав мінералогічний аналіз, поверхні мінеральних часток в розвантаженні млина найменш забруднені шлаками в порівнянні з іншими продуктами. Однак, розділення в лабораторній експериментальній установці продукту без попередньої ультразвукової обробки не дозволило значно покращити якість матеріалу – масова частка  $Fe_{заг}$  в очищеному продукті підвищилася на 0,41 %. Тоді, як після ультразвукової обробки протягом 60 с і інтенсивністю впливу  $1,62 \text{ Вт/см}^2$  якість очищеного продукту підвищився додатково на 0,4–0,5 % при одночасному підвищенні вилучення магнетиту – на 1,1 %. Ультразвуковий вплив створив сприятливі умови для розділення навіть порівняно «чистих» по поверхневому забрудненню дрібнодисперсних часток. Одночасно з підвищенням якості очищеного продукту збільшився його вихід за рахунок селективної магнітної флокуляції дрібнодисперсних очищених від нерудних шлаків часток магнетиту. Ефективність очищення продукту, а саме зливу вертикального млина від нерудних мінералів, розрахована за критерієм Хенкока-Луйкена, при застосуванні ультразвукової обробки підвищилася на 2,2–2,5 % або в 1,8–2,1 рази.



**Рис. 7.** Результати моделювання фокусування (а, б) та моделювання тиску (в) високоенергетичного ультразвуку в залізородній пульпі

Надалі досліджувався вплив інтенсивності ультразвукового впливу на показники очищення мінеральної поверхні від шламових часток.

Ультразвукова обробка матеріалу з інтенсивністю впливу  $1,6 \text{ Вт/см}^2$  і тривалістю до 60 с дозволила отримати диспергований матеріал з незначною величиною шламових покриттів мінеральних зерен. З підвищенням інтенсивності ультразвукового впливу до  $2,2\text{--}2,95 \text{ Вт/см}^2$  показники очищення продуктів різко знижуються. Ультразвукова обробка дозволяє очищати поверхню рудних часток від всіляких мінеральних покриттів. В [2] була показана можливість ультразвукового очищення мінералів від оксидів заліза. Фізичною основою застосування ультразвуку є його диспергуюча дія на дисперсійне середовище [14]. Однак, ультразвукова обробка, особливо систем рідина – тверде, може призводити і до коагуляції часток, злипання (коалесценції) [15]. Початковий етап цього процесу полягає в зближенні часток дисперсної фази і взаємної їх фіксації на невеликих відстанях один від одного. Між частинками залишаються прошарки середовища: подвійні електричні шари і гідратні оболонки часток. Тривалий та інтенсивний ультразвуковий вплив на пульпу може призвести не тільки до кавітаційного диспергування дрібнодисперсних часток, але істотно, до зміни властивостей, як рідкої фази, так і поверхонь твердих зерен. Тому при ультразвуковому впливі на пульпу повинен існувати оптимальний режим диспергування за інтенсивністю впливу на пульпу ультразвукової хвилі і тривалістю процесу.

Насичення пульпи кавітаційними парогазовими бульбашками підвищує її хвильовий опір. Підвищення хвильового опору рідкого середовища призводить до підвищення виведення в нього акустичної енергії, тобто збільшуються активні втрати, пов'язані з випромінюванням ультразвукової енергії в середовище. Парогазові бульбашки поглинають енергію ультразвукових хвиль і екранують тверді частинки від їх впливу. Акустична потужність, яка вводиться в середовище, підвищується, а ефективність її впливу на тверді частинки знижується.

Високі значення ультразвукових впливів змінюють кінематику коливального руху мінеральних частини, збільшується ймовірність їх зіткнення між собою і газовими бульбашками. Відбувається зниження поверхневої енергії часток і коагуляція. Як показали результати експери-

ментів, при високій інтенсивності ультразвукового впливу або при тривалому впливі на пульпу вихід очищеного продукту зростає. Це відбувається за рахунок збільшення вмісту в ньому сфолульованих нерудних і рудних мінералів, а якість його знижується. Так, наприклад, зі збільшенням ультразвукової обробки з 60 с до 240 с, кількість засвоєної пульпою ультразвукової потужності підвищується з 3,5 Вт до 11,5–12 Вт, а якість продукту, який очищується, знижується. Відбувається дисипація ультразвукової енергії в рідкій фазі пульпи, що є причиною різкого зниження ефективності обробки.

Аналіз результатів ультразвукової обробки продукту живлення зворотної флотації магнетиту показав наступне. Зі збільшенням інтенсивності ультразвукового впливу якість відмитого продукту підвищується на 0,3–0,48% до досягнення максимуму. При подальшому підвищенні інтенсивності якісні показники знижуються незначно на відміну від попереднього експерименту, де спостерігалось різке зниження якості. Це пояснюється тим, що продукт характеризується значно меншим вмістом великих нерудних зерен. Вихід продукту після ультразвукової, обробки підвищується при інтенсивності 1,2–1,9 Вт / см<sup>2</sup> і часу обробки 60 – 120 с. При більшій інтенсивності обробки вихід знижується. Тривалість обробки 240 с призводить до зменшення виходу відмитого продукту в усьому інтервалі інтенсивності впливу. Оптимальними параметрами обробки за показником вилучення Fe<sub>заг</sub> в відмитому продукті при очищенні мінеральних часток є інтенсивність 1,2 Вт/см<sup>2</sup> і час обробки не більше 60 сек. При тому вихід очищеного продукту підвищується на 0,8 %, а його якість на 0,9 %. Ефективність відмивання за показником Хенкока-Луйкіна підвищується із застосуванням ультразвукової обробки з 1,7 % до 3,1 % тобто в 1,8 рази.

Для оцінки втрат рудного мінералу з відходами та ступеня засмічення флотоконцентрату нерудними дрібнодисперсними частинками проведені дослідження з ультразвукової обробки концентрату і відходів флотації. Після ультразвукової обробки якість флотоконцентрату практично не змінюється, а при тривалій обробці навіть незначно знижується. Це пов'язано з тим, що всі мінеральні зерна інтенсивно очистилися в процесі ультразвукової обробки, проте потрапляючи в слабе магнітне поле експериментальної установки в рідкій фазі ці зерна утворюють магнітні флокули, до складу яких входять бідні залізовмісні силікати. В цьому випадку якість кінцевого концентрату не росте, але вихід збільшується

Аналіз результатів очищення відходів флотаційного доведення магнетитових концентратів показав, що ультразвуковий вплив очищає поверхні мінералів від шламових часток і диспергує в цілому тверду фазу. Це створює сприятливі умови для видалення нерудних мінералів в експериментальних умовах. Вихід відмитого продукту (відходів) знижується на 1,8-2 % а з підвищенням інтенсивності впливу – більш 1,62 Вт/см<sup>2</sup> зростає. Масова частка заліза в цьому продукті знижується на 2,2-2,3%, при цьому ефективність очищення підвищується в 1,4 рази.

Ультразвуковий вплив також знижує масову частку нерудних оксидів в очищених продуктах проб флотаційного доведення. В інтервалі інтенсивності ультразвукового впливу від 1,2 до 2,2 Вт/см<sup>2</sup> має місце значне зниження концентрації оксидів в очищеному продукті. Концентрація оксидів K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O, MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в очищеному продукті знижується в 1,2-3 рази. Подальше збільшення інтенсивності призводить до зниження ефективності ультразвукового впливу.

**Висновки та напрямки подальших досліджень.** Отже, застосування попередньої обробки залізорудної пульпи за допомогою високоенергетичного ультразвуку є перспективним напрямком підвищення ефективності процесу флотаційного доведення залізорудного концентрату шляхом очищення часток корисного компонента від шламу.

Встановлено, що застосування попередньої обробки залізорудної пульпи за допомогою високоенергетичного ультразвуку дозволяє підвищити ефективність очищення рудної сировини, Зокрема ефективність очищення від нерудних мінералів зливу вертикального млина за критерієм Хенкока-Луйкіна підвищилась на 2,2-2,5 %.

Визначено оптимальні параметри обробки за показником вилучення заліза загального у очищеному продукті. При очищенні мінеральних часток інтенсивність має становити 1,2 Вт/см<sup>2</sup>, час обробки не більше 60 сек. У такому випадку вихід очищеного продукту підвищується на 0,8 %, а його якість – на 0,9 %. Ефективність очищення за показником Хенкока-Луйкіна підвищується з 1,7 % до 3,1 %.

Встановлено, що ультразвуковий вплив також знижує масову частку нерудних оксидів в очищених продуктах проб флотаційного доведення. У інтервалі інтенсивності ультразвукового впливу від 1,2 до 2,2 Вт/см<sup>2</sup> має місце значне зниження концентрації оксидів K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O, MgO,

$Al_2O_3$  у очищеному продукті у 1,2-3 рази. Водночас, подальше збільшення інтенсивності призводить до зниження ефективності ультразвукового впливу.

### Список літератури

1. **Олійник, Т. А.** Перспективи розвитку технологій збагачення залізних руд [Текст] / **Т. А. Олійник** // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2018. – Вип. 69(110). – С. 32-44.
2. **Губин, Г. Г.** Обобщение и анализ возможности использования ультразвуковых колебаний при переработке полезных ископаемых / **Г. Г. Губин, Т. П. Ярош, Л. В. Скляр** // Збагачення корисних копалин: наук.-техн. зб. – 2016. – Вип. 62(103). – С. 132–143.
3. **Губін, Г.В.** Моделювання впливу ультразвукового сигналу в середовищі для розробки нової технології рудо-підготовки залізорудної сировини / **В.С. Мorkун, Г.В. Губін, Т.А. Олійник, В.В. Тронь, В.О. Равінська** // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2018. – Вип. 69(110). – С. 95-109.
4. **Morkun, V.** High-energy ultrasound using to improve the quality of iron ore particles purification in the process of its enrichment / **V. Morkun, G. Gubin, T. Oliinyk, V. Lotous, V. Ravinskaia, V. Tron, N. Morkun, M. Oliinyk** // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – Vol. 6 № 12 (90) – P. 41-51.
5. **Пилов П. И.** Повышение качества магнетитовых концентратов путем их механической обработки / **П. И. Пилов** // Горный журнал. – 1999. - № 6. – С. 30-32.
6. **Сентемова, В. А.** Флотация в схемах обогащения магнетитовых руд [Текст] / **В. А. Сентемова** // Обогащение руд. – 2007. – № 2. – С. 18–22
7. **Гзогян, Т. Н.** Теоретические и экспериментальные исследования получения высококачественных концентратов / **Т. Н. Гзогян** // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2010. – №4. – С. 389 – 393.
8. **Гончаров, С. А.** Повышение эффективности обогатительных технологий путем воздействия высокоэнергетического ультразвука на перерабатываемое сырье [Текст] / **С. А. Гончаров** // Вісник Криворізького технічного університету : зб. наук. праць. – 2009. – Вип. 23. – С. 236–239
9. **Губін, Г.Г.** Узагальнення і аналіз можливості використання ультразвукових коливань при переробці корисних копалин / **Г.Г. Губін, Т.П. Ярош, Л.В. Скляр** // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2016. – Вип. 62(103). – С. 132-144.
10. **Yusof, N. S. M.** Physical and chemical effects of acoustic cavitation in selected ultrasonic cleaning applications / **N. S. M. Yusof, B. Babgi, Y. Alghamdi, M. Aksu, J. Madhavan, M. Ashokkumar** // Ultrasonics Sonochemistry. – 2016. – Volume 29. – P. 568–576.
11. **Caο, Q.** Surface cleaning and oxidative effects of ultrasonication on the flotation of oxidized pyrite / **Q. Caο, J. Cheng, Q. Feng, S. Wen, B. Luo** // Powder Technology. – 2017. – Volume 311. – P. 390–397.
12. **Morkun, V.** Optimization of high-energy ultrasound source parameters for cavitation disintegration of ore floccules before floatation [Text] / **V. Morkun, V. Tron, V. Ravinskaia** // IEEE International Young Scientists Forum on Applied Physics and Engineering. – 2017. – P. 96–99.
13. **Soneson, J.** HIFU Simulator v1.2 [Electronic resource] / **J. Soneson**. // URL: <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/30886-high-intensity-focused-ultrasound-simulator>
14. **Розенберг, Л. Д.** Физические основы ультразвуковой технологии [Текст] / **Л. Д. Розенберг**. – М.: Наука, 1970. – 678с.
15. **Курьяков, В. Н.** Исследование воздействия ультразвукового диспергирования на кинетику агрегации асфальтенов в модельных системах [Текст] / **В. Н. Курьяков** // Георесурсы, геознергетика, геополитика: електрон. науч. журн. – 2013. Вип. 2(8). – С. 22-30.

Рукопис подано до редакції 03.05.2018

УДК 625.7

О.В. ПИЩИКОВА, Л.О. ЯНОВА, кандидати техн. наук, доценти,  
С.І. САХНО, канд. техн. наук, доц.  
Криворізький національний університет

## ПРОБЛЕМИ У СФЕРІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ДОРОЖНЬОГО РУХУ В УКРАЇНІ

**Мета.** На підставі аналізу стану безпеки дорожнього руху в Україні намітити заходи щодо удосконалення управлінських та державних механізмів підвищення безпеки дорожнього руху в Україні та усунення смертельного травматизму внаслідок ДТП.

**Методи дослідження.** В роботі використовувалися методи статистичної обробки даних, наукового узагальнення та систематизації з метою обґрунтування важливості внесення змін до діючого законодавства в сфері безпеки руху.

**Наукова новизна.** Наукова новизна полягає в ідентифікації основних причини ДТП, пов'язаних з людським фактором та запропонування підходів, рекомендацій та алгоритмів щодо вдосконалення відносин у сфері забезпечення безпеки дорожнього руху в Україні та зниження кількості травм та смертельних випадків на автошляхах.

**Практична значимість.** Практична значимість полягає у визнанні державою проблеми національного масшта-