



УКРАЇНА

(19) UA (11) 61704 (13) A

(51) 7 B03B5/28, B05D1/14

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІОПИС  
ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ  
НА ВИНАХІДвидається під  
відповідальність  
власника  
патенту(54) СПОСІБ ФЛОТАЦІЙНОЇ СЕПАРАЦІЇ ТОНКОДИСПЕРСНИХ МІНЕРАЛІВ ТА ФЛОТАЦІЙНА МАШИНА  
ДЛЯ ЙОГО РЕАЛІЗАЦІЇ

1

2

(21) 2003032792

(22) 31 03 2003

(24) 17 11 2003

(46) 17 11 2003, Бюл. № 11, 2003 р

(72) Рупьов Микола Миколайович

(73) Рупьов Микола Миколайович

(57) 1 Спосіб флотаційної сепарації тонкодисперсних мінералів, що включає насичення мінеральної суспензії бульбашками газу, який відрізняється тим, що насичення суспензії бульбашками газу здійснюють шляхом її змішування із окремо приготовленою газо-водяною емульсією

2 Флотаційна машина для сепарації тонкодисперсних мінералів, котра включає аераційний реактор, що має вхід для оброблюваної мінеральної суспензії і з'єднаний із камерою відділення мінералізованих бульбашок, виконаної у вигляді циліндра із конічним днищем, яка відрізняється тим, що машина додатково містить генератор газо-водяної емульсії, з'єднаний із аераційним реактором, а аераційний реактор містить вхід для введення га-

зо-водяної емульсії і виконаний, принаймні, із двох вертикально розташованих труб, одна з яких реалізує висхідний, а інша - нисхідний потоки мінеральної суспензії, змішаної з газо-водяною емульсією

3 Флотаційна машина за п. 2, яка відрізняється тим, що камера відділення мінералізованих бульбашок обладнана розташованим всередині екраном, виконаним у вигляді циліндра, котрий переходить у верхній частині в усічений конус, із розташованою всередині останнього воронкою випуску флотоконцентрату, причому вихід аераційного реактора розташований всередині екрана нижче рівня воронки

4 Флотаційна машина за пп. 2, 3, яка відрізняється тим, що аераційний реактор виконаний у вигляді безпечі з'єднаних між собою вертикально розташованих труб, частина з яких реалізує висхідні, а інші - нисхідні потоки мінеральної суспензії, змішаної з газо-водяною емульсією

Винахід відноситься до області розділення твердих матеріалів з використанням флотаційних процесів, зокрема, до способів і пристроїв для сепарації тонкодисперсних мінералів з метою вилучення (концентрування) цінних компонентів

Проблема вилучення з руд цінних компонентів шляхом флотації в даний час стала актуальною у зв'язку із виснаженням багатих родовищ і залучення в переробку бідних і тонковкраплених руд, які вимагають подрібнення до розмірів часток менше 20 мкм. Відомо [Дерягин Б. В., Духин С. С., Рупьов Н. Н. Микрофлотация водоочистка и обогащение - М. Химия, 1986 - 160 с.] [1], що для підвищення ефективності флотації дрібних часток необхідно зменшувати розмір бульбашок. Як показано в [N. N. Rulyov Turbulent microflotation of fine disperse minerals (The general concept) In Proceedings of Strategic Conference and Workshop Flotation & Flocculation From Fundamentals to Applications 28 July - 2 August 2002, Kailua-Kona, Hawaii, pp. 145-152] [2], значні результати у процесі флотації тонкодисперсних мінералів можуть бути досягнуті

тільки при використанні бульбашок розміром  $\leq 50$  мкм. На жаль, описані у технічній літературі способи флотації, котрі реалізуються в різних конструкціях флотаційних пристроїв, забезпечують одержання в достатніх кількостях тільки бульбашки розміром більше 200 мкм, що, на думку заявника, зумовлено способом насичення мінеральної суспензії бульбашками газу. Таким чином, обробка тонкодисперсних мінералів на використовуваних у даний час флотаційних установках не забезпечує високу ефективність процесу флотації внаслідок невисокого ступеня вилучення цінних компонентів. При цьому конструктивне виконання флотаційних машин не забезпечує їхню надійність і довговічність.

Відомі способи флотаційної сепарації тонкодисперсних мінералів і флотаційна машина, описані у [M. Nonaka, Wastewater Treatment System Applying Aeration-Cavitation Flotation Mechanism, Separation Sci. and Technology, 21 (1986) 457-474] [3]. Суть способу [3] полягає в насиченні мінеральної су-

(13) A

(11) 61704

(19) UA

спензії бульбашками повітря шляхом перемішування суспензії з повітрям, у процесі якого утворюються бульбашки, осадженні флотуючих часток мінералу на поверхні бульбашок із наступним відділенням флотоконцентрату

Процес флотаційної сепарації реалізується у флотаційній машині, котра складається із послідовно встановлених розхідного бака для вихідної суспензії, генератора бульбашок (ГБ), трубчатого аераційного реактора (АР) і камери відділення мінералізованих бульбашок (КВМБ). Як ГБ апарат містить пристрій з кавітаційними лопатками.

Флотаційна машина працює в такий спосіб. Суспензія мінералів із дуже великою швидкістю проходить через генератор бульбашок, у якому, власне кажучи, реалізується механічний принцип дроблення повітря, засмоктаного в потік суспензії, що вдаряється з великою швидкістю об кавітаційні лопатки, тобто бульбашки повітря утворюються за рахунок кавітації. При цьому невелика частина повітря розчиняється (внаслідок деякого надлишкового тиску в ГБ, не більш атмосфери). Суспензія, насичена бульбашками повітря, надходить у трубчатий аераційний реактор, у якому відбувається додаткове відділення мікро-бульбашок із води, що містить розчинене повітря (елемент напірної флотації), на яких відбувається флотування тонкодисперсних часток. При надходженні суспензії в КВМБ мінералізовані бульбашки спливають нагору, утворюючи піну, яка розвантажується у верхній частині камери, а несплотовані частки відділяються із камери знизу.

Як випливає із технічної суті способу і флотаційного пристрою [3], основним недоліком є низький ступінь вилучення тонкодисперсних мінералів, що зумовлене способом кавітаційного одержання бульбашок повітря і конструкцією флотаційного пристрою, котрий реалізує даний спосіб. Бульбашки, які утворюються внаслідок кавітації, занадто великі (розмір бульбашки більше 150 мкм) і не придатні для флотації тонкодисперсних мінералів. Кількість же мікро-бульбашок (розмір  $\leq 50$  мкм), які можна одержати в даному пристрої, занадто мала для ефективної флотації мінералів із розміром часток менш 20 мкм. Крім того, суспензія мінералів проходить з дуже великою швидкістю через ГБ, що руйнує його.

Найбільш близьким аналогом до винаходу за технічною суттю і результатом, що досягається, є спосіб флотаційної сепарації тонкодисперсних мінералів і пневматична флотаційна машина, описані в [Теория и технология флотации руд, ред. О.С. Богданов, изд. - 2, М "Недра" 1990, с. 283-284] [4].

Відомий спосіб [4] передбачає насичення мінеральної суспензії (пульпи) бульбашками газу (повітря) шляхом диспергування газу пневматичним методом у суспензію, котра рухається з великою швидкістю. При цьому, процеси диспергування газу і мінералізації диспергованих бульбашок попередньо підготовленими до флотації частками мінералу здійснюються одночасно у спеціальному пристрої - аераційному реакторі. Мінералізовані бульбашки потім відокремлюються від пульпи у вигляді флотоконцентрату, а несплотовані частки направляються у хвості.

Для реалізації способу відома флотаційна машина, котра складається з аераційного реактора АР, виконаного у вигляді трубопроводу, на вході в який встановлений аератор, і камери відділення мінералізованих бульбашок (КВМБ) - у вигляді циліндра з конічним днищем. Циліндрична частина камери обладнана пінним жолобом і пристроєм для видалення пінного продукту (концентрату), а конічне днище камери в нижній частині обладнано пристроєм для введення суміші мінеральної суспензії і бульбашок, яка надходить із АР (вихід трубопроводу), і пристроєм для випускання хвостів. Аератор виконаний у вигляді пористих тіл - трубок із поліетилену низького тиску, що мають діаметр пор 15 мкм і пористість 40%.

Пристрій працює в такий спосіб. Вихідна суспензія мінералів (пульпа), що містить тонкодисперсні частки розміром  $\leq 20$  мкм, надходить на вхід аераційного реактора, тобто на розташований на вході трубопроводу аератор, який служить генератором бульбашок. Повітря, проходячи через пористе тіло аератора, зривається потоком мінеральної суспензії, котра обтікає пористі трубки, і насичується бульбашками повітря. Поєднання малого розміру пор аератора (приблизно 15 мкм) і великої швидкості обтікання його суспензією мінералів дозволяє одержувати досить дрібні, флотаційно-активні бульбашки. У процесі руху через АР (трубопровід) багатофазна суміш інтенсивно перемішується, що сприяє більш ефективному осадженню флотуючих часток на поверхню бульбашок. Потрапляючи в КВМБ, мінералізовані бульбашки спливають нагору, утворюючи піну. Відділений від води піноконцентрат розвантажується за допомогою пінного жолоба і пристрою для видалення пінного продукту. Несплотовані частки вивантажуються із нижньої частини камери.

Як показали дослідження заявника, реалізація відомого способу і пристрою [4] для флотації тонкодисперсного мінералу, наприклад, суміші кварцу і халькопіриту, забезпечує вилучення халькопіриту на рівні 35-40%.

Таким чином, недоліком технічного рішення [4] є невисокий ступінь вилучення тонкодисперсного мінералу, зумовлений одержанням бульбашок безпосередньо у пульпі, за допомогою пневматичного методу, що приводить до генерування бульбашок, розмір яких занадто великий (100-300 мкм) і не забезпечує ефективну флотацію тонкодисперсних часток мінералу ( $\leq 20$  мкм).

Крім того, аератор подібного типу піддається сильному зносу внаслідок абразивної дії мінеральної суспензії, яка рухається з великою швидкістю. А через малий розмір пор трубок ГБ, пред'являються підвищені вимоги до чистоти повітря, котре продувається, що знижує надійність ГБ і всього пристрою в цілому.

В основу винаходу поставлена задача розробити спосіб флотаційної сепарації тонкодисперсних мінералів, заснований на новому принципі насичення мінеральної суспензії бульбашками газу розміром менше 50 мкм, що полягає в просторовому розділенні процесів одержання бульбашок газу і мінералізації бульбашок частками флотова-ного мінералу, а також розробити конструкцію флотаційної машини, котра реалізує запропонова-

ний спосіб флотації, що забезпечило б збільшення селективного флотаційного вилучення тонкодисперсних мінералів (розмір часток  $\leq 20$  мкм) і тим самим, істотно зменшило б кількість цінного компонента, який іде в хвости, а також підвищення надійності і довговічності машини.

Для вирішення поставленої задачі запропонований спосіб флотаційної сепарації тонкодисперсних мінералів, що включає насичення мінеральної суспензії бульбашками газу і відділення флотоконцентрату, у якому, відповідно до винаходу, насичення суспензії бульбашками газу здійснюють шляхом її змішування із окремо приготовленою газо-водяною емульсією.

Поставлена задача вирішується також запропонованою конструкцією флотаційної машини для сепарації тонкодисперсних мінералів (флотаційної машини), котра включає аераційний реактор (АР), який має вхід для оброблюваної мінеральної суспензії і з'єднаний із камерою відділення мінералізованих бульбашок (КВМБ), виконаної у вигляді циліндра із конічним днищем, яка, відповідно до винаходу, додатково містить генератор газо-водяної емульсії (ГВБЕ), з'єднаний із аераційним реактором, а аераційний реактор містить вхід для введення газо-водяної емульсії і виконаний, принаймні, із двох вертикально розташованих труб, одна з яких реалізує висхідний, а інша - нисхідний потоки мінеральної суспензії, змішаної із газо-водяною емульсією, при цьому камера відділення мінералізованих бульбашок обладнана розташованим усередині останньої екраном, виконаним у вигляді циліндра, котрий переходить у верхній частині в усічений конус із розташованою всередині останнього воронкою випуску флотоконцентрату, причому вихід аераційного реактора розташований всередині екрана нижче рівня воронки, при цьому аераційний реактор виконаний у вигляді безпліч з'єднаних між собою вертикально розташованих труб, частина з яких реалізує висхідні, а інші - нисхідні потоки мінеральної суспензії, змішаної із газо-водяною емульсією.

Відмінними ознаками заявляемого способу флотаційної сепарації тонкодисперсних мінералів є роздільне здійснення процесів одержання бульбашок газу і наступної мінералізації отриманих бульбашок частками флотованого мінералу, а також одержання бульбашок шляхом утворення газо-водяної емульсії, яка містить бульбашки газу із розміром не більше 50 мкм, котрі забезпечують ефективну флотацію мінералів із розміром часток менше 20 мкм. Заявляється процес насичення мінеральної суспензії попередньо отриманими бульбашками газу у вигляді газо-водяної емульсії забезпечується конструктивним виконанням елементів флотаційної машини і їхнім просторовим розташуванням. Просторове рознесення АР та ГВБЕ по твердій фазі (мінеральним часткам), дозволило одержати окремо стабільну, концентровану (до 66 об. %) газо-водяну емульсію, що містить практично всю кількість бульбашок із розміром  $< 50$  мкм, котру використовують для насичення мінеральної суспензії бульбашками газу в АР. Конструктивне виконання АР, що заявляється, у вигляді вертикально розташованих труб, з'єднаних між собою, частина з яких реалізує висхідні, а інші

- нисхідні потоки мінеральної суспензії, змішаної із газо-водяною емульсією, дозволяє поєднати в АР два суб-процеси осадження часток на поверхні бульбашок і укрупнення бульбашок за рахунок коалесценції і/або агрегування у складні флотокомплекси, котрі складаються з великої кількості висхідних бульбашок і флотаційно-активних часток, що приводить до підвищення ступеня вилучення часток мінералу з мінеральної суспензії. Заявляємо конструктивні особливості камери відділення мінералізованих бульбашок при попаданні в КВМБ флотокомплексів забезпечують їхнє швидке відділення від води седиментацією, що приводить до збільшення ступеня вилучення цінної мінеральної сировини (до 65%).

Як відомо [F. Sebba, An improved generator for micron-sized bubbles Chem Ind., 1985, pp. 91-92] [5], бульбашки розміром менше 50 мкм можуть бути отримані шляхом механічного диспергування газу у воді при виконанні двох основних умов: 1 - високий рівень дисипації механічної енергії, 2 - велика концентрація спінювача. Використання автономного генератора газо-водяної емульсії, за винаходом, дозволяє використовувати для утворення бульбашок менше 15% водяної фази. У результаті концентрація спінювача, котрий подається безпосередньо в генератор, а не в пульпу, збільшується більше, ніж у 6 разів, порівняно з її кінцевою концентрацією у пульпі. У результаті витрати енергії на диспергування повітря знижується більше, ніж у 6 разів і при цьому вдається одержати бульбашки розміром менше 50 мкм.

Слід зазначити, що одержання газо-водяної емульсії в апараті, просторово розділеному з місцем введення мінеральної суспензії, збільшує термін експлуатації флотаційної машини і її надійність, тому що мінеральна суспензія не проходить безпосередньо через ГВБЕ і, отже, не проявляє на ньому руйнівну абразивну дію. При цьому заміна простих несуттєвих робочих елементів машини, що здійснюють змішування газо-водяної емульсії і мінеральної суспензії, відбувається легко, без складного і важкого ремонту машини.

Спосіб реалізується таким чином. Мінеральну суспензію, що рухається з великою швидкістю, змішують із попередньо приготовленою газо-водяною емульсією, що містить 66-70% газу (повітря) у вигляді бульбашок із розміром менше 50 мкм. Газо-водяну емульсію готують, наприклад, шляхом механічного диспергування газу (повітря) у водяному середовищі у присутності спінювача. Отриману газо-водяну емульсію вводять у потік мінеральної суспензії і мінералізація бульбашок газу частками мінералів відбувається у процесі одночасного перемішування та руху системи у висхідних і нисхідних потоках. При цьому відбувається ефективне осадження тонкодисперсних часток мінералів на поверхні бульбашок газу (повітря). Мінералізовані бульбашки відокремлюються седиментацією у вигляді флотоконцентрату та направляються на подальшу переробку, а несплотовані частки направляються у хвости.

Спосіб, що заявляється, реалізується на флотаційній машині, принцип дії якої ілюструється схемою, представленою на кресленні (фіг.)

Флотаційна машина (фіг.) містить камеру для

відділення мінералізованих бульбашок КВМБ (1), з'єднану із аераційним реактором АР (2), котрий у свою чергу з'єднаний із генератором газо-водяної емульсії ГГВЕ (3) і постачальним (питательним, рос.) насосом (4), що подає мінеральну суспензію КВМБ (1) виконана у вигляді циліндра із конічним днищем (5), усередині якого розташований екран (6), виконаний у вигляді циліндра, який переходить у верхній частині в усечений конус, з розташованою всередині воронкою (7). Аераційний реактор (2) виконаний у вигляді вертикально розташованих труб (8), послідовно з'єднаних між собою, і обладнаний входом (9) для введення газо-водяної емульсії, отриманої в ГГВЕ (3), а також виходом (10) для виведення обробленої мінеральної суспензії в камеру відділення мінералізованих бульбашок. На вході (9) АР (2) відбувається змішування газо-водяної емульсії з мінеральною суспензією, яка подається постачальним насосом (4), а вихід (10) АР (2) розташований у КВМБ (1) всередині екрана (6) нижче рівня воронки (7).

Флотаційна машина працює в такий спосіб

У генераторі (3) готують газо-водяну емульсію. Як генератор, у даному випадку, використано механічний пристрій, який складається з камери із розташованими всередині обертовими дисками, за допомогою яких водяний розчин спінювача і газ (повітря), що надходять у камеру, перетворюються в газо-водяну емульсію, яка містить до 70% газу у вигляді бульбашок розміром менше 50 мкм. Отриману емульсію подають на вхід (9) аераційного реактора (2), де і відбувається змішування емульсії з мінеральною суспензією, котра подається постачальним насосом (4). Насичена бульбашками газу оброблюєма суспензія мінералів пропускається по вертикально розташованих трубах (8) аераційного реактора (2), де відбувається закріплення часток флотуючого тонкодисперсного мінералу (розмір часток  $\leq 20$  мкм) на поверхні бульбашок із утворенням флотокомплексів. Для ефективного протікання процесів у трубах аераційного реактора, у частині яких реалізується висхідний, а в іншій частині - висхідні потоки мінеральної суспензії, насиченої бульбашками газу, залежно від сумарної витрати мінеральної суспензії і газо-водяної емульсії  $Q$ , перетин  $S$  труб вибирають з умови  $Q/S \geq 0,2$  м/с, а довжина труб  $L$  повинна задовольняти співвідношенню  $LS/Q=5-100$ с. Виконання зазначених умов при заданій витраті  $Q$  забезпечує запобігання розшарування багатозфазної (рідина/тверда фаза/газ) суміші в АР (2), велику частоту зіткнення часток з бульбашками повітря і бульбашок між собою, і, як встановив заявник, найбільш повне осадження флотуючих часток на поверхню бульбашок і укрупнення останніх до розмірів, які забезпечують їх найбільш повне відділення від води.

Оброблена в аераційному реакторі (2) мінеральна суспензія через вихід (10) потрапляє в камеру відділення мінералізованих бульбашок (1) у простір між екраном (6) і воронкою (7). При цьому флотокомплекси та окремі укрупнені бульбашки чи їхні агрегати легко відокремлюються від води седиментацією і виходять у вигляді флотоконцентрату через воронку (7), рівень якої розташований

вище виходу (10). Отриманий флотоконцентрат направляється на подальшу переробку.

Вода, яка містить найбільш дрібні несплотовані частки, через переливний пристрій потрапляє в зливну камеру (11), куди одночасно з нижньої частини КВМБ (1) за допомогою відцентрового насоса (12) подається несплотований матеріал, котрий встиг осісти.

Приклад виконання способу флотаційної сепарації тонкодисперсних мінералів

Сепарації піддають тонкодисперсну суміш (3-20 мкм) сульфідного мінералу халькопїриту і кварцу при масовому співвідношенні, рівному 1:9, відповідно (далі суміш А).

Із суміші мінералів (А) готують суспензію з використанням як збирача етилксантану натрію (SEX, виробництво фірми SENMIN) у кількості 1 мг/г суміші.

Газо-водяну суспензію готують у дисковому генераторі 3, що складається з камери об'ємом  $0,25 \text{ дм}^3$  і диска, який обертається усередині її, діаметром 5 см. У камеру подають водяний розчин ( $100 \text{ мг/дм}^3$ ) спінювача ТЕВ (виробництво фірми SENMIN) і повітря. При обертанні диска зі швидкістю  $8000 \text{ об/хв}$  одержують стабільну концентровану газо-водяну емульсію зі вмістом бульбашок повітря 66 об. %, розмір яких не перевищує 50 мкм.

В аераційний реактор 2 подають мінеральну суспензію (суміш А) і газо-водяну емульсію. Одержують суміш, у якій концентрація по твердому складає 24 мас. %, а концентрація бульбашок повітря - 18 об. %.

Аераційний реактор виконаний із з'єднаних між собою вертикально розташованих труб загальною довжиною  $L=21 \text{ м}$  і діаметром  $d=4 \text{ мм}$ . При цьому, в одній половині труб реалізується висхідний потік, а в іншій - нисхідний потік мінеральної суспензії, змішаної із газо-водяною емульсією.

При проходженні суміші суспензії з газо-водяною емульсією по аераційному реактору відбувається мінералізація бульбашок частками халькопїриту. Наведені розміри АР забезпечують сумарну витрату суміші  $Q=20 \text{ дм}^3/\text{год}$  при швидкості руху суміші в трубах -  $0,7 \text{ м/с}$  протягом 30 с. Суміш з АР надходить у камеру (1) об'ємом  $1,1 \text{ дм}^3$ , у якій відбувається швидке, практично повне відділення мінералізованих бульбашок седиментацією. Несплотовані частки збираються внизу камери і направляються у хвости. Ступінь вилучення халькопїриту складає 63% (див таблицю, приклад 4). Аналогічно описаному прикладу виконання був здійснений дослід по сепарації тонкодисперсної суміші, яка містить пірротин і кварц при масовому співвідношенні 1:9 (далі суміш Б). Ступінь вилучення пірротину складає 53% (див таблицю, приклад 10).

Для визначення оптимальних параметрів процесу флотації тонкодисперсних сульфідних мінералів (халькопїрит і пірротин) були здійснені дослідні, аналогічно описаному прикладу, при різних довжинах АР, що визначає час контакту мінеральної суспензії і бульбашок газу, що вводяться у вигляді газо-водяної емульсії. Дані наведені у таблиці.

Умови сепарації		Ступінь вилучення мінералу, %			
Час обробки, с	Довжина АР, м	№ п/п	халькопїту (суміш А)	№ п/п	пірротину (суміш Б)
5	3,5	1	30,0	7	20
10	7,0	2	48,0	8	32
20	14,0	3	59,0	9	45
30	21,0	4	63,0	10	53
40	28,0	5	64,0	11	54
50	35,0	6	65,0	12	55

Як випливає із даних таблиці, ступінь вилучення тонкодисперсних сульфідних мінералів (халькопїту - найкраще флотуючого, і пірротину - найгірше флотуючого) досягає свого максимального значення за 30-50 секунд для халькопїту - на рівні 63-65%, а для пірротину - 53-55%.

Таким чином, основною перевагою запропонованого способу флотаційної сепарації тонкодисперсних мінералів і флотаційної машини, котра реалізує спосіб, порівняно з відомими, є значне підвищення ефективності флотування тонкодисперсних мінералів (розмір часток  $\leq 20$  мкм), що характеризується підвищенням у 1,6-1,8 рази ступеня вилучення цінних сульфідних мінералів, наприклад, халькопїту і пірротину.

Слід зазначити, що окреме приготування суміші рідини з газом (газо-водяної емульсії) з на-

ступним введенням її в мінеральну суспензію у флотаційній машині, яка характеризується рознесенням у просторі аераційного реактора і генератора газо-водяної емульсії, дозволяє реалізувати процес сепарації у найбільш оптимальних умовах, що, у свою чергу, приводить до підвищення довговічності і надійності машини і зниження вартості одержання цінного продукту флотації.

До достоїнств способу флотаційної сепарації та флотаційної машини, що заявляються, можна віднести незначний час обробки мінеральної суспензії в аераційному реакторі (5-100с), що у 100 разів менший часу, необхідного для одержання таких результатів на імпульсних флотаційних машинах.

