

УДК 622.7

В.П. СОКОЛОВА, канд. техн. наук
(Україна, Кривий Ріг, Державний ВНЗ "Криворізький національний університет"),

В.С. БІЛЕЦЬКИЙ, д-р техн. наук
(Україна, Полтава, Державний ВНЗ "Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка")

ФЕНОМЕНОЛОГІЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ФЛОТАЦІЇ ЗАЛІЗНИХ РУД ПРИ ВИКОРИСТАННІ СУМІШІ АПОЛЯРНОГО ТА ГЕТЕРОПОЛЯРНОГО РЕАГЕНТІВ-ЗБИРАЧІВ

Постановка проблеми та стан її дослідження. Сучасна методологія дослідження у гірництві, як і у будь-якій іншій технічній галузі, вдосконалюється як шляхом розвитку окремих, вже застосовуваних методів, так і застосування нових – нетрадиційних для цієї галузі. Так, у 1990-2000-х роках В.С. Білецьким запропоновано і успішно застосовано для розробки теорії процесу селективної масляної агрегації вугілля класичний метод гіпотез та феноменологічний метод [1-3]. Останній набув поширення і успішно застосований для в дослідженні масляної грануляції вугілля (В.С. Білецький, Ю.Л. Папушин), селективної флокуляції (П.В. Сергєєв, В.І. Залевський), збагачення вугілля по солі (Абделькрім Кхелуфі), дослідженні згущення рудних пульп і автоматизації цього процесу (Л.В.Шпильовий) та ін.

Феноменологічний метод (англ. *phenomenological method*, від *phenomenon* – явище, феномен; або від грецької *φαινομενον* – те, що з'являється) передбачає поділ технологічного процесу на ряд елементарних актів (субпроцесів), що послідовно і паралельно протікають в часі і просторі. Застосовуючи феноменологічний метод для багатоактних технологічних процесів, завжди можна розробити феноменологічну схему (модель), яка відображає послідовність та взаємозв'язок всіх елементарних фізичних та хімічних процесів, які мають місце при проведенні технологічного процесу.

Вихідні параметри попереднього субпроцесу є вхідними для наступного і т.д., що дає змогу системно розглядати й аналізувати технологічний процес, характеризувати його як об'єкт керування, впливу регулюючих і збуджуючих діянь та завод, ґрунтовно досліджувати механізм і динаміку технологічного процесу, які є якісними і кількісними складовими механізмів і динаміки окремих субпроцесів.

Переваги феноменологічного методу:

- можливість систематизації досліджень;
- спрощення досліджень шляхом розділення його на окремі елементи, що відповідають субпроцесам у об'єкті;
- послідовність відстеження явищ, які відбуваються в технологічних апаратах;
- можливість застосування як якісного, так і кількісного рівнів опису поведінки об'єкта;

Флотація

– сумісність феноменологічного методу практично з усіма іншими емпіричними та аналітичними методами досліджень.

Феноменологічна модель є також зручним інструментом для визначення перспективних каналів керування технологічним процесом, створення автоматичної системи керування (регулювання).

Для дослідження процесу флотації залізних руд феноменологічний метод до сьогодні не застосовувався. Водночас, попередній аналіз показує, що цей процес при використанні селективної суміші реагентів "мило дистильованого талового масла: солярове масло" являє собою сукупність елементарних актів (субпроцесів), які протікають послідовно та паралельно [4, 5]. Це дозволяє вважати застосування феноменологічного методу досліджень до розглядуваного процесу флотації залізних руд перспективним.

Мета статті – дослідження процесу флотації окиснених залізних руд при використанні суміші аполярного та гетерополярного реагентів-збирачів феноменологічним методом. Розробка і аналіз феноменологічної моделі цього процесу. Виокремлення основних (визначальних) субпроцесів.

Виклад основного матеріалу. Розроблений спосіб збагачення окиснених залізних руд методом флотації [5] передбачає здійснення попередньої підготовки руди та реагентів, їх контактування та власне процес флотації. Попередня підготовка руди полягає в її мокрому подрібненні до крупності 98% класу мінус 0,044 мм і виконується з метою якнайповнішого розкриття мінеральних фаз (разом з цим підвищується поверхнева активність руди), а також згущенні до 60% твердого. Підготовка реагентів-збирачів полягає у приготуванні емульсії солярового масла (СМ) у 5%-му розчині мила дистильованого талового масла (МДТМ) у співвідношенні мило:масло=2:1. Контактуювання руди з емульсією збирача, а також із регулятором середовища сірчаною кислотою та депресором мінералів пустої породи, головним чином кварцу, рідким склом здійснюється при масовій частці твердого у пульпі 60%. Флотація відбувається з додаванням депресора у 2-4 операції перетищення концентрату.

Всі запропоновані умови технологічного процесу флотації загалом є результатом вивчення та дослідження окремих субпроцесів, що об'єднані у феноменологічну модель. На рис.1 наведена феноменологічна модель процесу флотації окисненої залізної руди при використанні суміші аполярного та гетерополярного реагентів-збирачів.

Дослідимо явища, що мають місце в субпроцесах феноменологічної моделі, які направлені на підвищення ефективності флотаційного збагачення окиснених залізних руд.

Узагальнені дослідження [6] дозволили визначити, що для підвищення ефективності флотації тонких частинок (менше 0,044 мм) найбільш раціональним є використання в якості реагента-збирача емульсії аполярного реагенту СМ у розчині поверхнево-активної речовини (ПАР), аніонного реагенту – МДТМ. Останній гідрофобізує поверхню залізовмісних частинок, солярове масло сприяє їх флокуляції.

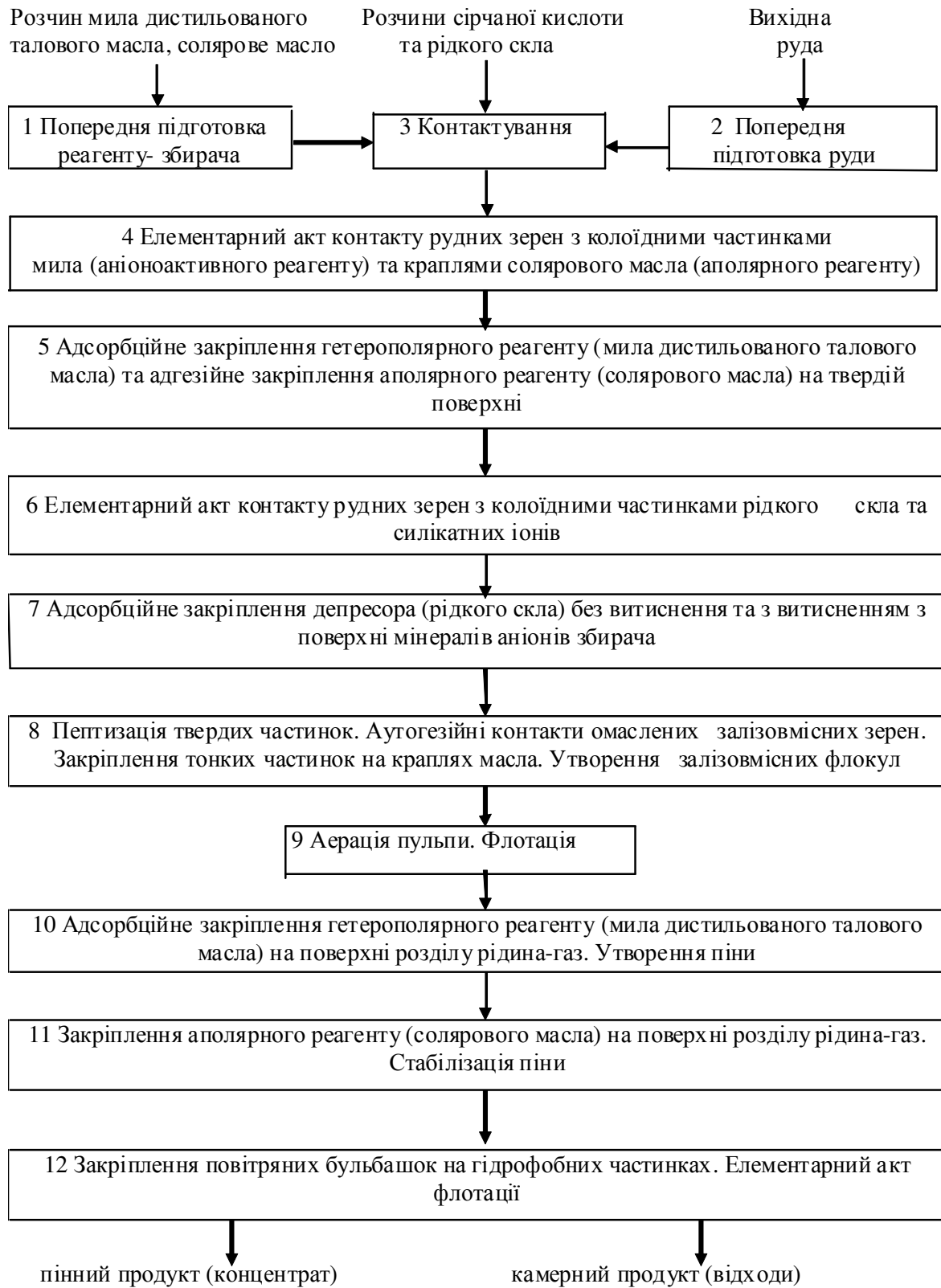


Рис. 1. Феноменологічна модель процесу флотації окисненої залізної руди при використанні суміші аполярного та гетерополярного реагентів-збирачів

Крім того, мило адсорбується на поверхні розділу рідких фаз, утворює захисні адсорбційні плівки, які перешкоджають коалесценції крапель масла. Це зумовлює підвищену стійкість емульсії, в порівнянні, наприклад, із емульсією масла у воді.

Теоретичною передумовою підвищення стійкості емульсії може служити створення навколо крапельок масла оболонки із стабілізатора, що володіє певними структурно-механічними властивостями. У емульсіях, отриманих без стабілізатора, дотичні фази – аполярне масло і вода – розмежовуються тонким перехідним шаром, що складається з молекул масла і води. Міжфазний поверхневий натяг в перехідному шарі, коли фази знаходяться в рівновазі, описується рівнянням, відомим, як правило Антонова [7]:

$$\sigma_{a/g} = \sigma_g - \sigma_a, \quad (1)$$

де $\sigma_{a/g}$ – поверхневий натяг на межі розділу фаз вода – масло; σ_g і σ_a – відповідно, поверхневий натяг аполярного реагенту і води на межі розділу рідина – газ.

Для підвищення стійкості емульсій емульгування ведеться у присутності ПАР. ПАР адсорбуються на поверхні розділу рідких фаз, утворюючи захисні адсорбційні плівки, механічно перешкоджаючи агрегації, коалесценції крапельок масла. Запишемо рівняння (1) у вигляді:

$$\sigma_{m/p} = \sigma_{z/p} - \sigma_{z/m}, \quad (2)$$

де $\sigma_{m/p}$ – поверхневий натяг на межі розділу фаз рідина (стабілізатор) – масло; $\sigma_{z/p}$ – поверхневий натяг аполярного реагенту (масла) на межі розділу масло-газ; $\sigma_{z/m}$ – поверхневий натяг рідини (стабілізатора) на межі розділу рідина-газ.

Застосування як дисперсійного середовища емульсії розчинів ПАР, що мають нижче значення $\sigma_{z/p}$, ніж вода, призводить, відповідно, до зниження величини $\sigma_{m/p}$. Відповідно до правила Дюпре робота розділення двох рідин, що не змішуються, або робота адгезії A_a , рівна:

$$A_a = \sigma_{z/p} + \sigma_{z/m} - \sigma_{m/p}. \quad (3)$$

Інакше кажучи, A_a – це зменшення вільної енергії при контакті двох рідин. Таким чином, однією з головних функцій міжфазної поверхневої плівки, що відокремлює дисперсну фазу від дисперсійного середовища, є зниження міжфазного натягу і, отже, зменшення роботи утворення поверхні розділу при диспергуванні. Зниження $\sigma_{m/p}$ сприяє легшій деформації і розриву масляної фази при емульгуванні з утворенням більш дрібнодисперсної емульсії.

Стійкість використаних емульсій оцінювалася часом життя крапель на поверхні розділу масло-вода [7]. Вимірювалася тривалість існування крапель солярного масла на межі розчину МДТМ і води. За даними експериментів, час життя крапель СМ в розчині МДТМ складає, в середньому, 2,55 с (від 2,13 до 2,88), у воді – 0,96 (від 0,72 до 1,44). Таким чином, емульсія СМ в розчині МДТМ є в 2,65 рази стійкішою, ніж емульсія, де дисперсійним середовищем є вода, оскільки час життя крапель СМ в розчині МДТМ в 2,65 рази більше часу життя крапель СМ у воді. За візуальною оцінкою, розмір краплі СМ, утвореної в розчині МДТМ в 2-2,5 рази менше, що підтверджує факт утворення більш дрібнодисперсної емульсії СМ в розчині МДТМ, ніж у воді.

Практично у всіх дослідженнях, присвячених спільній дії гетерополярних і аполярних збирачів при флотації, підвищення ефективності останньої пов'язують із зміцненням контакту "частинка-бульбашка" внаслідок зниження поверхневого натягу на межі рідина-газ [8-10]. Причиною підвищення ефективності дії гетерополярних збирачів при добавці вуглеводневих масел є не тільки багаторазове зміцнення контакту частинки і бульбашки, але і деяка додаткова гідрофобізація мінеральної поверхні внаслідок часткового розтікання крапельок масла по вуглеводневих ланцюгах гетерополярного збирача. Легкі нерозчинні у воді аполярні масла виконують функцію носія гетерополярного збирача. Молекули збирача розташовуються на поверхні крапельок масла так, що полярні групи їх обернені у бік водної фази. При зіткненні крапельок масла з мінеральними частинками відбувається взаємодія полярних груп з поверхнею. Масло, розтікаючись по вуглеводневих ланцюгах гетерополярного збирача, що закріпився, підвищує загальну гідрофобність поверхні [11]. На основі крапель масла і гетерополярного реагенту утворюються комплекси з гетерополярними властивостями розміром більше 1 мкм, що обумовлює більш ефективний, порівняно з дифузійним у турбулентному потоці, інерційний механізм зустрічі комплексу реагентів з залізовмісною поверхнею і збільшує адсорбцію [1].

Дослідження механізму адсорбції збирачів, що є ПАР, проводилося вивченням ізотерм адсорбції Ленгмюра [12, 13]. Адсорбцію визначали на руді крупністю 0,5-0 мм. Маса наважки в експериментах була 200 г, питома поверхня порошку – 224 м²/кг; масова частка твердого при контактуванні – 60%, час контактування – 10 хв. Як рідкі фази використовувалися водні розчини МДТМ різної концентрації і емульсії СМ в розчинах МДТМ. Величину адсорбції розраховували за різницею концентрацій розчинів до і після контактування твердої фази із збирачем перед флотацією за формулою:

$$G = \frac{\Delta C \times V}{S \times m}, \quad (4)$$

де G – величина адсорбції реагенту, г-моль/см²; ΔC – різниця концентрацій реагенту в розчині до і після адсорбції, г-моль/см³; V – об'єм розчину, см³;

Флотація

S – питома поверхня адсорбенту, $\text{см}^2/\text{г}$; m – маса наважки адсорбенту, г.
Роботу адсорбції розраховували за формулою:

$$W = R \times T \times \ln \frac{\Gamma}{C \times \delta}, \quad (5)$$

де W – робота адсорбції, кДж/моль ; R – універсальна газова стала, рівна $8,3 \text{ кДж/моль}\cdot\text{К}$; T – температура, К ; Γ – величина адсорбції, $\text{г}\cdot\text{моль}/\text{см}^2$; C – концентрація реагенту, для якої розрахована Γ , $\text{г}\cdot\text{моль}/\text{см}^3$; δ – товщина поверхневого шару, рівна $9 \times 10^{-8} \text{ см}$.

Результати експериментів та розрахунків показали, що в присутності аполярного реагенту СМ адсорбція МДТМ збільшується на 0,5-4% в залежності від витрати реагенту і становить, відповідно, 96,0-98,7 та 92,0-98,2%. Вплив кратності емульсії знаходиться в межах помилки експерименту: коливання величини адсорбції в цьому випадку складає 0,06-0,2%. Виконані розрахунки величини роботи адсорбції показали, що у присутності СМ закріплення МДТМ міцніше: робота адсорбції при цьому на 10-100 кДж/моль більше.

Проаналізуємо субпроцеси, що зумовлюють селективну флокуляцію залізовмісних частинок при використанні суміші реагентів-збирачів. При флотації тонких шламових частинок великого значення набувають явища пептизації і флокуляції. Пептизація і селективна флокуляція тонких мінеральних частинок підвищують швидкість і селективність флотації іоногенними збирачами. Сумісна дія аніонного збирача і вуглеводню на шламові частинки флотуємого мінералу сприяє їх флокуляції і поліпшенню флотуємости. Аніонні збирачі, маючи хімічно активні функціональні групи, адсорбуються на поверхні частинок, гідрофобізують її, аполярні реагенти, адгезійно закріплюючись на гідрофобних ділянках, сприяють формуванню агрегатів обмаслених частинок. При введенні в пульпу емульсії аполярного масла відбувається закріплення гідрофобізованих твердих частинок на поверхні розділу рідина-масло через вибіркоче змочування їх аполярним реагентом при зниженні міжфазної вільної енергії. Відбувається закріплення тонких частинок на краплях масла або притягання частинок у момент їх контакту.

Утворення флокул тонкодисперсних залізовмісних частинок оцінювалася за кінетикою осадження твердої фази, виходу зливу і масової частки твердого в ньому, масової частки заліза в зливні залежно від витрати реагентів і складу суміші збирачів відповідно. Добавка вуглеводню солярного масла до гетерополярного збирача мила дистильованого талового масла в присутності пептизатора рідкого скла підвищує флокуляцію тонких частинок в 1,4 рази в порівнянні з використанням тільки аніонного збирача [14].

Мікрофотографії суспензії гематитових кварцитів наочно відображають процес флокуляції рудних частинок (рис. 2). При контактуванні руди з милом дистильованого талового масла тонкі частинки утворюють агрегати-пластівці (рис. 2 а), при використанні солярного масла тонкі частинки, в основному, за-

кріплюються на краплях масла або можуть утворювати агрегати-пластівці.

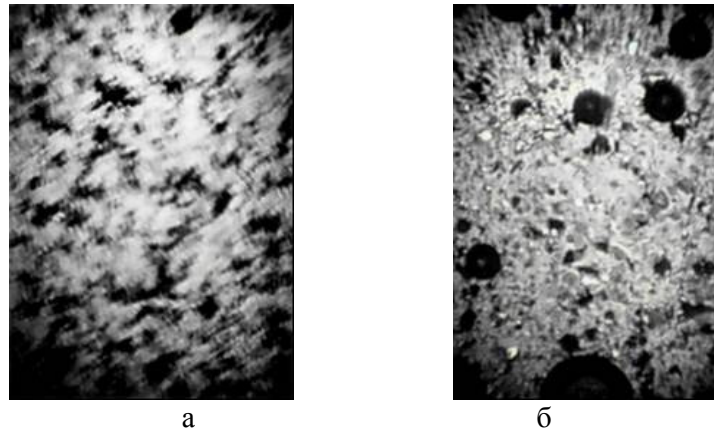


Рис. 2. Мікрофотографії суспензії гематитових кварцитів у прохідному світлі (а) у присутності МДТМ, (б) у присутності емульсії солярного масла в розчині МДТМ ($\times 120$):
чорне – гематит, мартит; біле – кварц

Мило карбоксильних кислот, використовуване як збирач, має піноутворювальні властивості і при флотації відіграє також роль піноутворювача. Додатково використовувані аполярні реагенти регулюють структуру піни, виключаючи зайве піноутворення. Стійкі піни при флотації утворюють шлами. Чим тонше подрібнений матеріал, що флотує, тим, за інших рівних умов, міцнішою (стабільнішою) буде піна. Стабілізуюча дія мінеральних частинок на піну може бути задовільно пояснена на основі аналогії трифазних пін і емульсій і загальною теорією цих систем, розвиненою П.А. Ребіндером. Згідно цієї теорії, стабілізаторами піни можуть бути тверді частинки флотаційної крупності, які створюють у воді краєві кути більше 0° і менше 90° [15]. Руйнування піни відбувається в результаті витікання міжплівкової рідини по каналах Плато-Гібса, дифузії газу між бульбашками і розриву індивідуальних плівок піни. Стабілізацію трифазних пін пов'язують з механічним зміцненням плівок піни в результаті їх "бронювання" частинками твердої фази. Тверді частинки закупорюють канали Плато-Гібса, зменшуючи тим самим швидкість витікання рідини [16].

Найстійкішу піну дають розчини з низьким поверхневим натягом. Із зменшенням поверхневої енергії розчину його піноутворююча здатність збільшується. Із зменшенням поверхневого натягу витрачається менша робота для отримання однакового об'єму піни. Введення аполярних реагентів викликає в більшості випадків підвищення поверхневого натягу та, відповідно, зниження стійкості піни, утвореної тим або іншим піноутворювачем. Тому зменшення стійкості піни, утвореної при використанні сумішей збирачів, в порівнянні із стійкістю піни, утвореної розчинами одного МДТМ, обумовлене підвищенням поверхневої енергії на межі розділу рідина – газ при введенні СМ в розчин МДТМ і утворенні емульсії [16].

У роботі [17] вивчалася піноутворююча здатність розчинів збирачів, ви-

значалася стійкість немінералізованої піни, її залежність від концентрації піноутворювача – МДТМ, а також залежність максимального об'єму піни від витрати МДТМ, досліджувався вплив добавок аполярного реагенту СМ на стійкість піни. За характеристику стійкості піни брався час від моменту її виникнення до повного руйнування (час існування піни). У роботі визначалася стійкість піни і її залежність від концентрації піноутворювача (витрати збирача), а також вивчалася кінетика руйнування піни для різних реагентів. Піну утворювали методом струшування водного розчину реагентів в циліндрі [7].

Піноутворювачі типу мила утворюють у воді колоїдні системи, піни з яких характеризуються високою стійкістю. Витікання міжплівкової рідини в таких пінах в певний час припиняється, а пінний каркас може зберігатися тривалий час за відсутності зовнішньої руйнуючої. Як виявили експерименти, для МДТМ характерне швидке збільшення об'єму піни із збільшенням концентрації розчину. Так, наприклад, підвищення концентрації розчину з 0,24 до 0,56 % (витрати МДТМ з 0,6 до 1,2 кг/т) приводить до збільшення максимального об'єму піни з 40 до 180 см³ (рис.3). Стабільність піни, утвореної МДТМ, із збільшенням концентрації розчину неухильно зростає. Так, час існування піни, утвореної МДТМ, зростає від 30 до 300 хвилин при збільшенні концентрації МДТМ в розчині від 0,16 до 0,56 % (рис. 4).

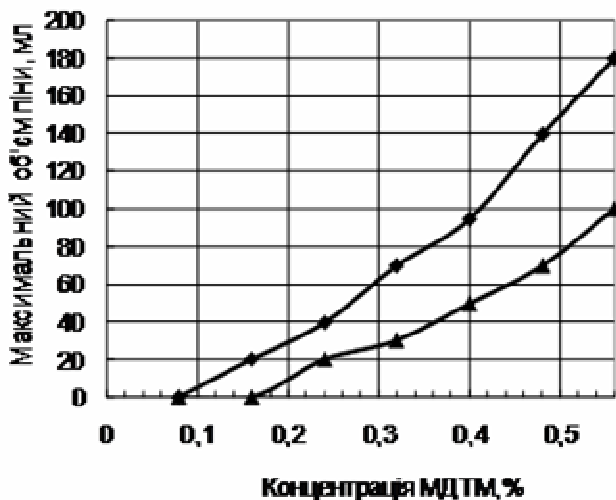


Рис. 3. Залежність максимального об'єму піни від концентрації МДТМ без СМ (верхня крива) та при співвідношенні МДТМ:СМ=1:2 (нижня крива)

При введенні СМ в розчин МДТМ максимальний об'єм утвореної піни при витраті 1,4 кг/т (концентрації 0,56%) зменшується в 2 рази і дорівнює 100 см³ при співвідношенні МДТМ:СМ, рівному 2:1. Час існування піни, утвореної при додаванні СМ скорочується до 70-75 хвилин (для максимальної концентрації 0,56%). Таким чином, менше стійкою є піна, утворена у присутності СМ в розчині МДТМ.

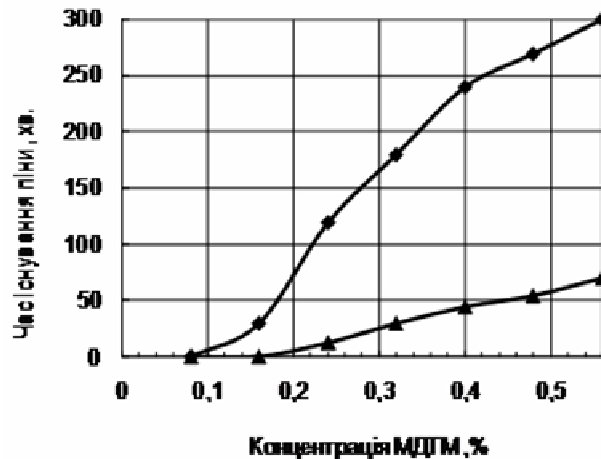


Рис. 4. Залежність часу існування піни від концентрації МДТМ без СМ (верхня крива) та при співвідношенні МДТМ:СМ=1:2 (нижня крива)

Що ж до оптимальної кратності емульсії, то в даному випадку необхідно враховувати вплив аполярного реагенту на утворення та стійкість піни, що безпосередньо впливає на технологічні показники флотації. Дуже стійкі піни в процесі флотації важко очищуються від мінералів порожньої породи і зростків. З іншого боку, швидке руйнування піни в процесі флотації може зменшити вилучення корисного мінералу. З цієї точки зору найбільш прийнятними для ефективної флотації є суміш реагентів МДТМ:СМ при співвідношенні 2:1 [17].

Як показали дослідження з флотаційного збагачення окиснених залізистих кварцитів Кривбасу та Казахстану [18-20], використання як збирача емульсії СМ у розчині МДТМ дозволяє підвищити селективність флотації, в середньому у 1,3-2,8 рази (коефіцієнт селективності за Годеном). Причому найбільше зростання селективності відбувається при флотації руди без попереднього знешламлення, що говорить про значне підвищення ефективності флотації тонких частинок руди. Так критерій ефективності збагачення (за Волосковим) при флотації знешламленої руди складає 67-75% в залежності від крупності граничного зерна знешламлення, при флотації руди без попереднього знешламлення ефективність збагачення досягає 79-81%. В порівнянні ефективність збагачення при флотації без аполярного реагенту – 62-64%.

Висновки

Таким чином, розроблена феноменологічна модель флотації залізних руд дозволяє більш ефективно вести дослідження з урахуванням усіх взаємозалежностей окремих елементарних процесів, що відбуваються при флотаційному збагаченні, виявити і більш детально дослідити визначальні субпроцеси, узагальнити отримані результати.

При використанні в якості збирача емульсії аполярного реагента СМ у розчині гетерополярного МДТМ визначальними субпроцесами флотації окиснених залізних руд є:

- адсорбційне закріплення гетерополярного реагенту та адгезійне закріплення аполярного реагенту на твердій поверхні;
- аутогезійні контакти омаслених залізовмісних зерен із закріпленням тонких частинок на краплях масла, утворення залізовмісних флокул;
- адсорбційне закріплення гетерополярного реагенту на поверхні розділу рідина-газ, утворення піни;
- закріплення аполярного реагенту на поверхні розділу рідина-газ, стабілізація піни.

Саме ці елементарні процеси, в першу чергу, визначають ефективність закріплення повітряних бульбашок на гідрофобних частинках та власне флотації.

Список літератури

1. Білецький В.С., Сергєєв П.В., Папушин Ю.Л. Теорія і практика селективної масляної агрегації вугілля. – Донецьк: Типографія МКП "Грань", 1996. – 264 с.
2. Білецький В.С. Застосування класичного методу гіпотез для розробки теорії процесу селективної масляної агрегації вугілля // Геологія і геохімія горючих копалин. – 2000. – № 3. – С. 79-86.
3. Білецький В.С. Застосування феноменологічного методу опису технологічних процесів // Проблеми сучасного підручника середньої і вищої школи: Зб. наук. пр. – 2003. – Вип. 2. – С. 54-56.
4. Патент на винахід № 42477 Україна, В 03 Д 1/02. Спосіб флотації залізної руди./ В.П.Соколова, М.К Воробйов. Заявл № 2001031638, 12.03.2001г. Опубл. 15.06.2004 р. Бюл. № 6.
5. Патент на винахід № 47642 Україна, В 03 Д 1/02. Спосіб збагачення окисленої залізної руди./ В.П.Соколова, М.К Воробйов. Заявл № 2001064368, 22.06.2001. Опубл. 15.09.2004 р. Бюл. №9.
6. Соколова В.П. Выбор и обоснование применения солярового масла для повышения селективности флотационного обогащения окисленных железистых кварцитов // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2009. – Вип. 39(80). – С. 87-95.
7. Айвазов В.В. Практикум по химии поверхностных явлений и адсорбции.– М.: Высшая школа, 1973. – 206 с.
8. Физико-химические основы действия аполярных собирателей при флотации руд и углей. – М.: Наука, 1965. – 96 с.
9. Кондратьев С.А., Изотов А.С. Влияние аполярных реагентов и ПАВ на устойчивость флотационного комплекса // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2000. – № 4.– С. 108-116.
10. К механизму совместного действия ионогенных собирателей и аполярных реагентов при пенной флотации. / В.И. Мелик-Гайказян, Н.П Емельянова, В.Т. Пронин. // Тезисы докладов: III-й Конгресс обогатителей стран СНГ, Москва, 20-23 марта, 2001. – М: Альтекс, 2001. – С. 77-78.
11. Абрамов А.А. Флотационные методы обогащения. – М.: Недра, 1984. – 383 с.
12. Абрамзон А.А. Поверхностно-активные вещества. – Л.: Химия, 1981. – 304 с.
13. Фролов Ю.Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы. – М.: Химия, 1982. – 400 с.
14. Соколова В.П. Дослідження флокуляції залізовмісних частинок при флотаційному збагаченні гематитових кварцитів із застосуванням суміші гетерополярного та аполярного реагентів // Новое в технологии, технике и переработке минерального сырья: Сб. науч. тр.

ин-та Механобрчермет. – Кривой Рог, 2006. – С. 91-99.

15. Ребиндер П.А. Физикохимия флотационных процессов. – М.: Metallurgizdat, 1933. – 230 с.

16. Тихомиров В.К. Пены. Теория и практика их получения и разрушения. – М.: Химия, 1983. – 264 с.

17. Соколова В.П. Исследование пенообразующей способности реагентов-собирателей (гетерополярных и аполярных), используемых при флотации окисленных железистых кварцитов // Новое в технологии, технике и переработке минерального сырья: Сб. науч. тр. ин-та Механобрчермет. – Кривой Рог, 2005. – С.43-52.

18. Соколова В.П. Использование аполярных собирателей при флотации тонковкрапленных окисленных железных руд // Новое в технологии, технике и переработке минерального сырья: Сб. науч. тр. ин-та Механобрчермет. – Кривой Рог, 2003. – С. 17-22.

19. Соколова В.П., Воробьев Н.К., Габура А.В. О повышении селективности действия анионных собирателей при флотации тонковкрапленных железных руд // Тезисы докладов IV Конгресс обогатителей стран СНГ, Москва, 19-21 марта 2003 г. – Альтекс, 2003. – Т 1. – С. 76-78.

20. Соколова В.П. О повышении эффективности обогащения окисленных железистых кварцитов (на примере руд Новокроиворожского ГОКа) // Новое в технологии, технике и переработке минерального сырья: Сб. науч. тр. ин-та Механобрчермет. – Кривой Рог, 2003. – С. 6-16.

© Соколова В.П., Білецький В.С., 2016

*Надійшла до редколегії 27.02.2016 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. Т.А. Олійник*