

УДК 622.765

Т.А. ОЛІЙНИК, д-р техн. наук, проф., Л.В. СКЛЯР, канд. техн. наук, доц.,
Ю.В. ЧЕХОВСЬКА, магістрант ДВНЗ «Криворізький національний університет»
ДО ПИТАННЯ УТВОРЕННЯ ФЛОТАЦІЙНОГО КОМПЛЕКСУ

Зроблено аналіз розроблених та досліджених методик утворення флотаційного комплексу в Україні та за її межами. Виявленні недоліки та переваги розглянутих методик утворення флотаційного комплексу. Визначенні основні напрямки подальших досліджень.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Україна має найбільший в Європі мінерально - ресурсний потенціал і може увійти в десятку основних гірничодобувних країн у світі. На території України розвідано понад 8 тис. родовищ 90 видів корисних копалин, половина з яких розробляється. При підготовці руди до збагачення наявне обов'язкове утворення великої кількості шламів і тонких частинок, які втрачаються при знешламленні руди. Метод флотації є одним з найбільш продуктивних процесів збагачення тонких шламів. Тому перед дослідниками для підвищення вилучення цінних компонентів ставиться завдання направляти на флотацію не знешламлений матеріал і шлами. Велика кількість досліджень присвячена вивченню флотаційного збагачення різної мінеральної сировини й розвитку теоретичних основ процесу.

Постановка завдання. Умовою вдосконалення технології флотаційного збагачення, оптимізації та інтенсифікації процесу, є глибоке розуміння хімічних і фізико-хімічних процесів і явищ, що протікають в обсязі пульпи і на поверхні мінералів при флотації. У зв'язку з цим дослідження флотації, як одного з процесів збагачення шламів є актуальною науковою і практичною задачею.

Викладення матеріалу та результати. З досягненням успіхів хімічної галузі з розробки реагентів, що в свою чергу дало розвиток технології флотації як методу збагачення рудної сировини, були дослідженні залежності якості продуктів флотації від властивостей взаємодіючих фаз [1]. Але не було висунуто єдиної теорії, яка б повністю та однозначно відображала утворення флотаційного комплексу. Розглянемо напрями вивчення взаємодії повітряної бульбашки і твердої мінеральної частинки та утворення флотаційного комплексу. Деякі автори розглядають систему бульбашок і часток як макросистему.

К.А. Разумов [1] виразив підхід, згідно з яким переміщення периметра змочування відбувається через ребро частинки. Спираючись саме на цей підхід Самойлов А.І., Папушин Ю.Л дійшли до висновку, що максимальна міцність закріплення спостерігається при ідеально гострих ребрах часток. А отже, сила відриву, яка необхідна для руйнування флотаційного комплексу буде наближатися до нуля у тому випадку коли форма часток буде близька до кулястої. У роботах, вище зазначених авторів було розглянуто вплив форми часток на міцність флотаційного комплексу в умовах плівкової флотації. Було визначено значення сил відриву часток від поверхні "вода-повітря". У відповідності з розрахунками при проходженні трьохфазного периметра контакту по ребру частки циліндричної форми кут контакту буде збільшуватись до значення рівновісного кута змочування. При цьому сила, що втримує частинку на поверхні рідини, досягає максимального значення.

Протилежного висновку щодо впливу форми часток на результат флотації дійшли Хікійлмаз К., Улусой У. У своїй роботі [2] вони стверджують, що більше вилучення у флотаційний концентрат дають частинки більш гладкої форми, з меншою кількістю гострих кутів. Розглядаючи наведені протиріччя, у вище зазначених роботах, питання впливу форми часток на їх флотаційну здатність не є достатньо дослідженим.

Анісімов М.Т. приділив увагу різним випадкам змочування твердої поверхні та її взаємодії з кулькою рідини в об'ємі газової фази. Аналогічні положення були використані Класеном В.І. та Мокроусовим В.А. в своїй дослідницькій діяльності. Анісімов М.Т. розраховує площу закріплення краплини води на поверхні мінералу для деяких значень кута змочування, який є умовною характеристикою. Дослідник на базі простих алгебраїчних залежностей вважає, що краплина рідини розділяється на дві частини, перша частина розташовується на поверхні твердої фази, а друга - проникає в середину твердого у вигляді правильного сегмента, що не відповідає дійсним процесам. Для закріплення повітряної бульбашки на мінеральній частинці

використовуються ті ж умови. Провівши аналіз ряду геометричних співвідношень визначається радіус можливого периметра контакту, що дозволяє розраховувати площину контакту. Підхід, що використовує Анісімов М.Т. є досить спрощеним, він не відображає складних процесів, що відбуваються на поверхні фаз при їх взаємодії, а також не враховує цілого ряду явищ.

У подальшому, Анісімов М.Т. приводить теоретичні розробки та аналіз флотації з точки зору встановлення співвідношення фаз, які приймають участь у процесі. Автор пропонує поняття, яке на його думку дозволить аргументувати подачу повітря в процес в залежності від якості сировини. А саме, автор вносить пропозицію щодо введення мінімального коефіцієнта аерації, який пов'язаний з вмістом корисного мінералу у вихідному продукті по масі чи за об'ємом.

Дослідження флотаційного збагачення рудної сировини, наприклад такої як: гематит - маритових, фосфаритових руд та магнетиту висвітлюються дослідниками сучасності.

Олійник Т.А. розглядає процес флотації тонких частинок із застосуванням крупнозернистих частинок, який включає дві основні операції - контактування, при якому відбувається обробка суспензії реагентами і флокулоутворення, і власне флотацію зфлокулованих частинок, при якій відбувається мінералізація піни [3]. Процес флокуляції частинок складається із зіткнення крупнозернистих і тонких частинок, розриву гідратного прошарку між ними і взаємодії зіткнення частинок. Зіткнення тонких і крупнозернистих частинок може здійснюватися в результаті броунівського руху в турбулентному потоці суспензії, де основним чинником є ступінь інтенсивності перемішування суспензії. Оптимальний показник інтенсивності перемішування залежить від ступеня гідратації поверхні частинок. Взаємодія тонких і великих часток відбувається за рахунок міжмолекулярних сил тяжіння і сил тиску з боку молекул води. У присутності нейтральних масел сили взаємодії посилюються силами, що зумовлені дефектом тиску в меніску масла між частинками.

Розроблені складні емпіричні моделі: двофазна, яка розглядає перехід частки з пульпи в піну і назад; модель чотирьох станів, в якій аналізується зміна кількості частинок в кожному з них: вільні частки в пульпі; частинки, що закріпилися на бульбашках в пульпі; частинки, що закріпилися на бульбашках в пінному шарі; вільні частки в пінному шарі.

У цих моделях виключалися фактори, що впливають на утворення і руйнування флотаційного комплексу і визначають швидкість протікання процесу. Інший напрямок у вивченні кінетики полягає в розділенні флотації на послідовні стадії. Але скласти загальну картину взаємодії частинки з бульбашкою також виявилось складно. Раціональніше виділити суттєві моменти у взаємодії частинки з бульбашкою і на їх основі сконструювати модель флотаційного комплексу, адекватність якої перевіряється відомими із практики флотації значеннями.

Роботи виконані в цьому напрямку дозволяють розглядати ці частинки як центри звичайної селективної флокуляції, інакше в піну зі шлаками цінних мінералів понесеться і пуста порода.

Роботи Р.Х. Юна присвячені створенню кінетичної моделі взаємодії між частинкою і бульбашкою як гідрофобними тілами. Модель враховує різні поверхневі сили, в тому числі гідрофобні, при закріпленні частинки на бульбашці.

Спочатку модель включала розгляд кінетики флотації частинок в спокійних умовах, але потім була розширена для умов турбулентності в імпульсних флотомашинах. Параметри моделі включають гідродинамічні фактори та характеристики поверхні. Модель здатна передбачати результати флотації і може бути використана для поліпшення показників процесу.

Спираючись на теорію Я.І. Френкеля про квазікристалічну структуру води і різні кути змочування - натікання і відтікання в роботі Олійник Т.А. Скляр Л.В. була розглянута кінематична модель взаємодії мінеральної частки і повітряної бульбашки також був відзначений вплив зовнішніх дій (введення іонів) на зменшення впорядкованості молекул води, на кути змочування [4]. Також вказують, що на стан бульбашки має вплив турбулентний рух пульпи, а саме, що внаслідок турбулентності виникають коливання поверхні бульбашки та часток, що розташовані на ній. На думку авторів порушення рівноваги в системі "бульбашка-частка" виникає в результаті потоків енергії та перерозподілу речовини при деформаціях бульбашки, що приводить до виникнення тангенційної сили на межі розподілу "газ-рідина", що і викликає зміну в енергетичному стані комплексу.

Все більше застосування знаходить у флотації термодинамічний метод. Розгляд термодинаміки змочування й адгезії призводить до висновку про наявність впливу структури

рідини на ці процеси. Для системи, близької до реальної флотаційної, зміна вільної енергії при змочуванні визначається зміною як поверхневих, так і об'ємних властивостей фаз. В термодинамічних моделях адгезія механічна, молекулярна, електрична, дифузійна та хімічна, розглядається в залежності від природи взаємодіючих тіл і умов. Механічна адгезія здійснюється шляхом затікання в пори і тріщини поверхні твердого тіла рідкого адгезиву (зв'язує речовини), який твердне, забезпечуючи механічне зачеплення з твердим тілом. Молекулярний (адсорбційний) механізм адгезії виникає під дією міжмолекулярних Ван-дер-Ваальсових сил і водневих зв'язків.

Електрична теорія пов'язує адгезію з виникненням подвійного електричного шару на межі розділу між адгезивом і субстратом (тверде тіло). Дифузійний механізм передбачає взаємне проникнення молекул і атомів у поверхневий шар взаємодіючих фаз. Хімічна теорія обумовлена хімічною взаємодією фаз. Дж. Лясковський розглянув роль флотаційної термодинаміки в розумінні явища змочування поверхні твердого тіла рідиною і умов гідрофобізації мінералів при їх обробці збирачами. Таким чином, розгляд змочування й адгезії з точки зору термодинаміки, приводить до висновку про вплив структури рідини на ці процеси, а зміна вільної енергії при змочуванні визначається зміною поверхневих і об'ємних властивостей фаз. Такий підхід при переході до реальних флотаційних систем дозволяє з нових позицій пояснити і здійснити процес розділення мінералів жовтових фосфоритових руд.

В.І. Класен розглядає класичний термодинамічний підхід утворення флотаційного комплексу з використанням теорії змочування. А також автор досліджує цей самий процес з врахуванням швидкостей взаємодіючих фаз, що визначає даний процес вже як кінетичний. Приведенні вище підходи є пов'язаними між собою, оскільки присутня залежність між залишковим гідратним шаром та швидкістю наближення частинки і повітряної бульбашки. Також науковцем були досліджені різні випадки наближення взаємодіючих фаз та їх результати.

В.І. Класен робить акцент на тому, що не можна в повній мірі ґрунтуватися на теоретичних дослідженнях зіткнення частки з бульбашкою, адже в реальних умовах цей процес є більш складним та викликає труднощі для аналітичного описання.

Одними з фундаментальних досліджень, що присвячені питанням флотаційних технологій є дослідження Рубинштейна Ю.Б., Мелик-Гайказяна В.І. та інших. Дослідниками була розглянута схема зіткнення частки та повітряної бульбашки з позиції гідродинаміки. Результатами роботи є приведення аналітичних виразів для розрахунку числа зіткнень часток з бульбашками для умов колонної флотації, а також коефіцієнтів захоплення частки бульбашкою, які отримані різними авторами, та аналізу цих залежностей. Також відмічається, що кожне з рівнянь отримане при визначених припущеннях і описує тільки конкретні механізми утворення флотаційного комплексу, які можна використовувати для частинок крупності котрих змінюється у вузьких межах.

Дослідники підкреслюють необхідність обґрунтування використання інерційного або гравітаційного механізму розгляду елементарного акту флотації і труднощі застосування теоретичних розробок для прогнозування та оцінки практичних результатів збагачення. Можна підкреслити протиріччя, що виникли у різних авторів при розгляді складних процесів у взаємодії флотаційних фаз. На підставі розрахункових методів була отримана формула для визначення амплітуди відносної швидкості інерційних пульсацій частки або бульбашки та рідини в умовах турбулентного руху.

Дослідниками О.С. Богдановим і Б.В. Кізевальтером було розглянуто питання зіткнення твердої мінеральної частинки та повітряної бульбашки у стані коли пульпа не перемішувалася. Автори робіт визначають таку модель однофазною, а також дійшли висновку, що бульбашки розміром до 0,2 мм, не залежно від концентрації ПАВ у пульпі мають рух твердих шарів.

Відомо, що механізм утворення флотаційного комплексу може бути різним для частинок значної та невеликої флотаційної крупності. Великі частинки мають ефект зчеплення з бульбашкою при достатній їх енергії та за рахунок удару, що буде забезпечувати умови для розриву рідкої плівки на поверхні бульбашки. Ймовірність прориву плівки залежить від поверхні частинки, а саме від її гідрофобності, а також від енергії удару, яка у свою чергу визначається радіальною швидкістю частинки і бульбашки. У своїх дослідженнях роботи [5] автори дійшли висновку про те, що час контакту частинки і бульбашки може бути недостатнім для закріплення, особливо це спостерігається при їх значних радіальних швидкостях. Вище зазначена робота спирається на результати комп'ютерного моделювання зіткнення частинки з буль-

башкою при різних швидкостях руху.

Оскільки тонкі частинки не мають значної енергії для подолання енергетичного бар'єру, але при ковзанні вони можуть наближатися до поверхні бульбашки на досить малу відстань, при якій плівка рідини може прорватися за рахунок втрати своєї стійкості. Тому для утворення флотаційного комплексу для частинок малої крупності є необхідність ефекту зчеплення і подальшого ковзання по поверхні бульбашки.

Приведенні вище викладення не є повним відображенням складних процесів, що відбуваються на мікрорівні і за мікрочас. Вони відображають аналітичну і логічну сторону досліджень та мають інтегральний підхід до виникнення флотаційного комплексу.

Дослідник Ейгелес М.А. приділяє увагу такому параметру, як час індукції, що є необхідним при закріпленні мінеральної частинки на поверхні бульбашки. На основі досліджень були встановлені певні залежності часу індукції від крупності часток і бульбашок, також від наявності і типу реагенту-колектора, гідродинаміки потоків і вторинних факторів. Був сконструйований контактний прилад для вивчення цих складних процесів. М.А. Ейгелес з'єднав термодинамічний та кінетичний підхід до аналізу механізму утворення флотаційного комплексу. Його дослідження мають значний вплив на розвиток теорії флотації за рахунок викладених в роботі результатів, але також робота містить деякі розбіжності з точки зору інших дослідників.

Тому є необхідними подальші дослідження з питання утворення флотаційного комплексу на мікрорівні, допомогою в реалізації цієї задачі може стати імітаційне моделювання із залученням комп'ютерної техніки.

В.І. Мелік-Гайкзян присвячує свою увагу поясненню наслідків з рівняння рівноваги сил, що діють на прикладі контакту трьох фаз, відомого як рівняння Фрумкіна-Кабанова, в роботах міститься висновок про відсутність впливу гістерезиса змочування на міцність контакту.

Була висунута думка, що тільки при наявності нерівновісного стану на поверхні бульбашки біля периметра контакту, при якому відбувається локальне збільшення поверхневого натягу на розділі рідина-повітря, може відбуватися багатократне збільшення міцності такого контакту.

Крім цього в роботах встановлений висновок про те, що на втримання повітряних бульбашок на твердій поверхні мінеральних часток головним чином впливають капілярні та гравітаційні сили та підкреслюється відсутність впливу Архімедової сили бульбашки у периметра контакту у загальному балансі сил.

Також зазначається, що при відриві бульбашок від підложки капілярні сили є значно більшими ніж вага частинки у воді.

Аналіз робіт показує, що утворення флотаційного комплексу на макрорівні дає спрощене уявлення про кінетику взаємодію фаз при виникненні флотаційного комплексу та не враховує багатьох факторів цього складного процесу.

За кордоном висвітлюються питання, пов'язані із взаємодією частинок і бульбашок, з поверхневими силами, які виникають при такій взаємодії, з гідродинамікою потоків, що заважають або сприяють закріпленню при зіткненні частинки і бульбашки.

Але в повній мірі не приділяється увага питанням, що пов'язані з рухом фаз при утворенні флотаційного комплексу, зміною положення центрів тяжіння бульбашки і частинки, тобто на мікрорівні. Дослідники сучасності розглядають взаємодію твердих мінеральних часток та повітряних бульбашок на мікрорівні з використанням комп'ютерних методів моделювання складних процесів. Найбільшу увагу в таких дослідженнях було приділено аналізу часу існування флотаційного комплексу в залежності від кута зіткнення вугільної частинки і бульбашки.

Дослідження проводились шляхом імітаційного моделювання. Імітаційне моделювання полягає в тому, що циклічно виконується послідовний перебір параметрів всіх елементів відповідно до збільшення їх порядкового номера у вихідних даних. Але такі дослідження не розглядають питання, що пов'язані з відносним переміщенням фаз та впливом властивостей поверхні на утворення та існування флотаційного комплексу.

Чисельне моделювання за допомогою пакетів комп'ютерних програм є одним із сучасних методів, що дозволяють досліджувати тонкі процеси на мікрорівні, які відбуваються в різних складних системах. Цей метод поєднує в собі точність і розгляд широкого спектру деталей в динаміці за дискретні періоди часу, які можуть складати мілі- чи мікросекунди.

Модель дозволяє отримати достовірну поведінку елементів в динаміці і дослідити вплив різних параметрів при взаємодії фаз в сепараційних та інших фізичних процесах.

Чисельне імітаційне моделювання за допомогою використання дискретних елементів може

бути доцільним інструментом для дослідження складних процесів, що відбуваються при утворенні флотаційного комплексу.

Висновки та напрям подальших досліджень. Таким чином, скласти загальну картину взаємодії частинки з бульбашкою дуже складно.

Раціонально розглядати взаємодію частинки з бульбашкою і на їх основі сконструювати модель флотаційного комплексу за будь якої методики, але треба враховувати мінералогічний склад та особливості сировини.

Список літератури

1. **Разумов К.А.** Флотационный метод обогащения. Л.: ЛГУ, 1975. – 272 с.
2. **Хикилмаз К., Улусой У., Билген С., Йекелер М., Актоган Г.** Эффект шероховатых и острых поверхностей частиц пирита на флотацию при трехмерном подходе // Физико – технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2006. - №4. С. 95 – 104.
3. **Олейник Т.А.** Физико-химические основы процесса флотации на носителях // Збагачення корисних копалин. - Дніпропетровськ, 2006. - вип. 27 (68) – 28 (69). – С. 86 – 92.
4. **Олейник Т.А., Скляр Л.В.** Кинетическая модель взаимодействия частицы и пузырька во флотационном комплексе франклит-доломит-кальцит // Наукові праці Донецького національного університету. Донецьк, 2008. – вип. 15 (131). – С. 145 – 151.
5. **Е.И. Назимко, И.Н. Друц.** Исследования кинетики взаимодействия фаз в динамической среде при обогащении минералов // Горный информационно-аналитический бюллетень МГТУ. – 2004. - №1. – С. 336 – 339.

Рукопис подано до редакції 22.02.13

УДК 656.07:502.7

А.В. АРТЮХОВ, ст. преподаватель, А.Ю. СЕРДЮК, аспирантка,
ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

УПРАВЛЕНИЕ ТРАНСПОРТНЫМИ ПОТОКАМИ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Изложен подход к минимизации влияния деятельности транспорта на население региона на основании управления транспортными потоками с учетом влияния параметров окружающей среды, контролируемых в реальном времени.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Фактический контроль параметров окружающей среды и передача их в реальном времени в системы управления транспортом позволяет минимизировать негативное влияние транспорта на экологическую ситуацию региона путем своевременного динамического перепланирования маршрутов движения транспорта в зависимости от изменения значащих параметров.

Анализ исследований и публикаций. В международной практике широко используется система Интеллектуальной Транспортной Инфраструктуры (ITS) способной эффективно управлять существующей улично-дорожной сетью с учетом её плотности и пропускной способности [1,2]. Отличительный признак таких систем - автоматическое (или с минимальным участием оператора) формирование управляющих воздействий в режиме реального времени на объекты транспортной системы. В системах данного плана используют алгоритмы с множеством параметров, но не учитывают закономерности влияния параметров транспортных потоков на степень загрязнения атмосферы вредными веществами. Однако разработанные системы не исследуют экологические и технические характеристики схем организации дорожного движения (ОДД) непосредственно в соответствующих местах на различных участках транспортной сети, с учетом застройки вокруг дорог [3].

Большое внимание уделяется и комплексным схемам ОДД и установлению функциональных зависимостей уровня экологических характеристик от технических схем ОДД. Но все исследования уровня экологических характеристик сводятся лишь к тому, что в имитационных моделях учитывается циклический характер движения автомобилей в городах, который связан с остановками перед перекрестками и последующим разгоном, без достаточной оценки параметров всего транспортного потока [4].

Цель исследований. Целью выполненной работы является повышение качественных экологических показателей территориального региона за счет динамического планирования маршрутов движения транспорта на основании данных, получаемых в реальном времени от систем контроля экологических параметров окружающей среды.

Изложение материала и исследований. Бурный процесс развития автомобильного транспорта с каждым годом охватывает все большее число стран, постоянно увеличивается автомобильный парк и объемы перевозок, количество участников дорожного движения. Параллельно