

УДК 622.765.4

О.І. НАЗИМКО (д-р техн. наук, проф.)

В.І. ДРУЦ (магістрант)

Донецький національний технічний університет, м. Донецьк

МОДЕЛЮВАННЯ ПОВЕДІНКИ ФАЗ ПРИ УТВОРЕННІ КОМПЛЕКСУ ФЛОТАЦІЇ

У даній роботі розглянута комп'ютерна модель для моделювання кінетики взаємодії фаз при збагаченні. В ході проведення імітаційного експерименту було поставлено завдання визначення параметрів взаємодії частинок і бульбашок при утворенні флотаційного комплексу. Проведена перевірка працездатності чисельної моделі і настройки її параметрів, отримання дані продемонстрували прийнятну поведінку комп'ютерної моделі при моделюванні окремих стадій процесу взаємодії фаз при збагаченні флотації і довело її ефективність.

Ключові слова: флотація, флотаційний комплекс, чисельне моделювання, взаємодії фаз, цикл, ефективність флотації, кута нахилу.

Постановка проблеми і стан її вивчення. Технологія флотації широко застосовується як метод збагачення не лише в рудній, але і у вуглезбагачувальній практиці. Багаторічні дослідження і розробка технології, що проводилися провідними галузевими і науково-дослідними інститутами при активній участі виробників, створили об'єктивні передумови для доведення процесу флотації до широкого практичного застосування в гірничо-збагачувальній промисловості для збагачення тонких шламових часток, що дозволяє отримувати концентрати необхідної якості.

Незважаючи на дослідження, що проводилися, до теперішнього часу залишаються питання, що вимагають уточнення і доповнення. Особливо великі труднощі виникають при вивченні процесів, що відбуваються на мікрорівні. До таких процесів слід віднести в першу чергу взаємодії фаз при їх зіткненні і утворенні комплексу флотації в ході елементарного акту флотації. Без розуміння природи тонких явищ, що відбуваються, практично неможливий розвиток технології збагачення флотації і техніки для його реалізації. Вивчення фізичних процесів, які супроводжують формування комплексу «мінерал-бульбашка» сприятиме підвищенню ефективності флотації. Так як взаємодії фаз динамічні в часі та перебувають під впливом великого числа фізичних і хімічних чинників і відбуваються в маленькому масштабі. Лабораторні випробування не завжди показують задовільну точність, є стомливими і вимагають витрат часу. Крім того, деякі стадії взаємодії досить складно досліджувати експериментальним шляхом. Аналітичні ж дослідження часто дають результати, що ідеалізуються.

Мета роботи. Дослідження флотації вугільних частинок на мікрорівні.

В ході проведення імітаційного експерименту поставлено завдання визначення параметрів взаємодії частинок і повітряних бульбашок при утворенні флотаційного комплексу

Методика та обладнання для проведення експериментальних робіт. Одним з сучасних варіантів вирішення цієї проблеми є чисельне моделювання, яке поєднує в собі динаміку, точність і розгляд широкого спектру деталей. В порівнянні з масивом гірських порід частинки, що розділяються, мають дійсно комплексну поведінку: вони переміщуються в процесі флотації і піддаються множинним актам освіти і руйнування комплексів флотацій. Ці процеси управляються фізич-

ними і хімічними властивостями поверхні мінералів і властивостями реагентів, що додаються в процес. На рис. 1 представлена базова схема взаємодії елементів.

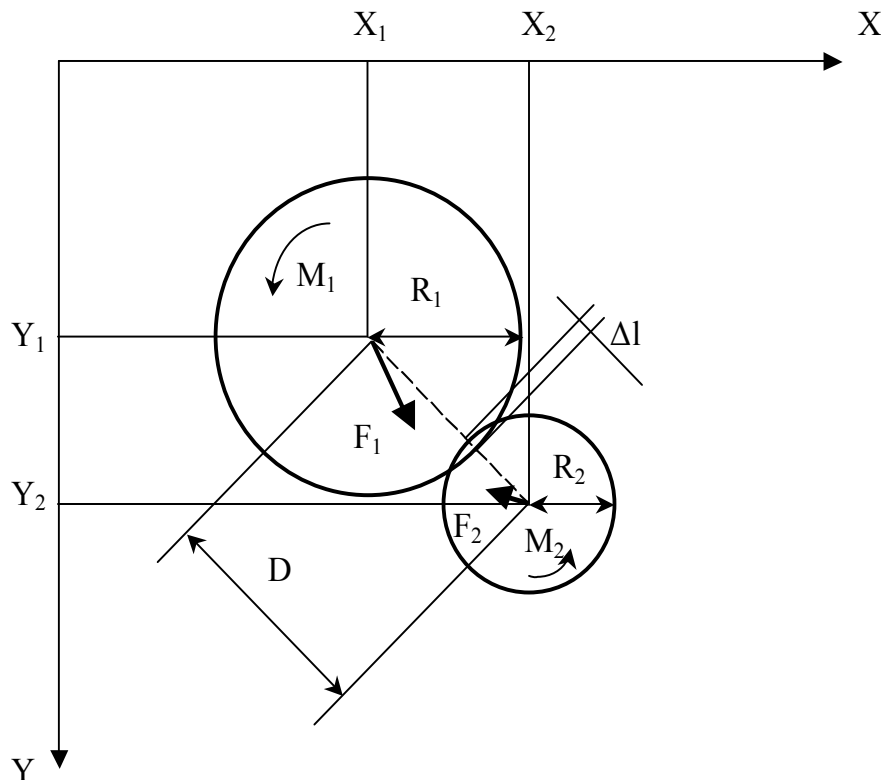


Рис. 1. Схема взаємодії двох елементів елементів

Взаємодіючі елементи мають кулясту форму з радіусами R_1 і R_2 . Будь-яка частинка рухається під дією сили F_1 або F_2 і обертається відповідно до закону Ньютона в прямокутній системі координат X-Y, якщо вона прискорюється моментами M_1 і M_2 .

Рухи частинок, що розділяються, розглядаються в дискретні періоди часу. У комп'ютерній реалізації ці періоди моделюються як цикли. Координати центрів тяжіння X_1 , Y_1 і X_2 , Y_2 , швидкості V_1 і V_2 , і сили є постійними в межах циклу і перераховуються на кожному циклі рахунку.

Програма виконує моделювання переміщення в просторі і взаємодії окремих і пов'язаних в групі елементів. Робота програми базується на засадничих законах механіки: законі Гука і другому і третьому законах Ньютона.

Робота з програмою полягає: 1) в підготовці файлу початкових даних; 2) виконанні розрахунку; 3) вивченні отриманих результатів. Файл початкових даних містить інформацію про просторове розташування елементів, їх характеристики, зв'язки між собою і діючі зовнішні сили. Виконання розрахунку залежно від кількості початкових елементів і можливостей комп'ютера може займати час від декількох хвилин до діб. Отримані результати представляються в графічному вигляді, який відображає положення усіх елементів в конкретні моменти часу.

Метод моделювання кінетики взаємодії фаз в процесі флотації заснований на моделюванні динаміки руху часток і повітряних бульбашок в рідкому середовищі. Алгоритм розрахунку припускає заміну реальних твердих зерен і повітряних бульбашок частинками у формі кулі, які переміщуються незалежно один від одного і

взаємодіють за допомогою прямих зіткнень. В процесі моделювання циклічно здійснюється послідовний перебір усіх елементів в порядку зростання їх порядкового номера. При цьому перераховуються координати X , Y , швидкості V і діючі сили F . Найбільш важливою частиною алгоритму є визначення дистанції між елементами D і обчислення їх перекриття Δl (зашморгування).

В результаті розраховується приріст швидкості на кожному циклі відповідно до формули:

$$dV_y = G \cdot dt, \quad (1)$$

де ΔV_y – вертикальне прирощення швидкості, м/с; G – прискорення вільного падіння, м/с²; dt – приріст часу за один цикл, с,

Потім проводиться переміщення елементів на нову позицію відповідно сформованим швидкостям V і збільшенню часу dt за формулами:

$$X = X + dV_x dt, \quad (2)$$

$$Y = Y + dV_y dt, \quad (3)$$

де X – нове горизонтальне положення елемента (координата), м; dV_x – горизонтальний приріст швидкості, м/с; Y – нове вертикальне положення елемента (координата), м.

Після переміщення усіх елементів на нові позиції виконується перевірка їх взаємодії і на підставі отриманих зашморгувань Δl (перекриттів) елементів обчислюються природи діючих сил по формулі:

$$dF = k \Delta l, \quad (4)$$

де dF – приріст сили, Н; k – коефіцієнт жорсткості, Н/м; Δl – зашморгування елементів, м.

Слід зазначити, що окремо обчислюються і фіксуються сили, діючі в горизонтальних і вертикальних напрямках, а також момент сил, що викликає повороти елементів відносно своїх центрів.

Щоб врахувати реальні процеси, що протікають при взаємодії часток і повітряних бульбашок в процесі флотації, а саме, інерційність, опір середовища і втрати енергії при переході з одного стану в інший, в алгоритм введені коефіцієнти, що враховують втрату енергії в цих випадках. Зокрема, є можливість задавати опір середовища елементам, що рухаються, згідно з формулою Стоксу, а також коефіцієнт втрат енергії при взаємодії елементів.

Для обліку сили тертя, що виникає при взаємодії окремих елементів, в процесі обчислення приростів сил враховуються вказані в початкових даних коефіцієнти тертя.

З урахуванням сказаного вище за формулу (1) і (4) наберуть вигляду:

$$dV_y = q dt - 6 k_v R V_y, \quad (5)$$

$$dF = k \Delta l - k_F V - k_T F, \quad (6)$$

де kV – опір середовища (коефіцієнт демпфування), R – радіус елемента, V_y – вертикальна складова швидкості, kF – коефіцієнт внутрішнього опору, визначуваний взаємодією елементів (коефіцієнт безповоротності, втрати енергії впродовж взаємодії), kT – коефіцієнт тертя, F – рівнодійна сил, прикладених до елемента.

Після визначення сил, прикладених до усіх елементів, виконується переміщення елементів на нову позицію відповідно до значень цих сил. Потім відбувається циклічне повторення перелічених вище операцій.

Впродовж кожного циклу суміжні частинки перевіряються на умови когезії і адгезії. Якщо частинки мають наближення одна до іншої на критичну відстань, вони злипаються між собою (дві або декілька). Одночасно перевіряються сили адгезії (когезії). Якщо вони досягають певних меж, злипли комплекси руйнуються. Введено три межі для сил. А саме, частинки, що злилися, повинні відокремитися, якщо вони були стислі в нормальному напрямі на величину більшу, ніж межа стискування L_t , або були зрізані в тангенціальному напрямі один відносно одного більше, ніж межа зрушення L_s , або зігнуті відносно з'єднання більше, ніж межа викривлення L_b .

Перевірка працездатності чисельної моделі і налаштування її параметрів. Початкові дані для виконання розрахунку готуються в текстовому файлі за допомогою вбудованого або будь-якого іншого редактора, працюючого з неформатованим текстом. Програма дозволяє готувати і редагувати файл початкових даних повністю автоматично. Це прискорює процес підготовки і знижує вірогідність виникнення помилок при завданні початкових параметрів.

Таким чином правдива динамічна поведінка взаємодіючих фаз моделюється при їх збагаченні флотації. Комп'ютерні коди розвинені в середовищі Дельфі-3. Моделювання поведінки двовимірного комплексу впродовж сотень тисяч циклів, які містять сотні часток, може бути закінчено за прийнятний період часу завдяки засобам об'єктного програмування.

Перед використанням описаної вище чисельної моделі для дослідження процесу взаємодії вугільних часток і повітряних бульбашок необхідно виконати перевірку правильності підібраних чинників з урахуванням властивостей фаз, що беруть участь, щоб модель адекватно відбивала реально протікаючі процеси. Для первинного налаштування моделі виконано моделювання відриву повітряної бульбашки від мінеральної пластинки. Цей експеримент комп'ютерного моделювання був проведений в умовах, відтворюючих фізичний експеримент.

Рівняння переміщення повітряної бульбашки упродовж похило розташованої пластинки в спрощеному виді:

$$m \, dv / dt = F_v \sin \alpha - F_c - f (F_v - mg) \cos \alpha , \quad (7)$$

де m – маса бульбашки, F_v – виштовхуюча сила, F_c – сила опору переміщенню бульбашки, пов'язана з опором рідини і з силою, обумовленою взаємодією приповерхневих шарів гідратів бульбашки і пластинки, f – коефіцієнт тертя.

Масою бульбашки і силою його тяжіння можна нехтувати зважаючи на їх мале значення в порівнянні з іншими діючими силами.

У комп'ютерній моделі поверхня пластинки з наклеєним на неї вугільним порошком моделювалася набором дрібних вугільних часток, які були міцно прикріплені одна до іншої за допомогою підбору коефіцієнтів нормальної деформації.

В процесі моделювання було помічено, що бульбашка при переміщенні уздовж пластинки обертається навколо своєї осі. Це було визначено по зміні положення радіусу бульбашки. При цьому бульбашка дещо деформувалася і витягува-

лася уздовж пластинки, формуючи 5 елементарних контактів з її поверхнею. Точки контакту збільшують міцність з'єднання бульбашки з поверхнею пластинки і бульбашку залишається прикріпленим до пластинки.

При нахилі пластинки до кута в 150 відбувається просування бульбашки повітря вперед і вгору, до іншого кінця пластинки. Проте швидкість переміщення бульбашки залишалася незначною – за 1.3 з бульбашка перемістилася на відстань близько 29 мм, тобто бульбашка рухалася з середньою швидкістю 22 мм/с.

При куті нахилу пластинки рівному 250 бульбашка за цей же час долала відстань близько 90мм, переміщаючись уздовж пластинки. Таким чином, середня швидкість переміщення бульбашки за заданих початкових умов склала близько 69 мм/с.

При завданні кута нахилу пластинки рівним 550 спостерігалось швидке переміщення бульбашки уздовж поверхні усієї пластинки, його відрив і подальше різке спливання.

Отримані значення свідчать про те, що для гідрофільної поверхні швидкість переміщення бульбашки збільшується. Швидше просування бульбашки уздовж пластинки при збільшенні кута її нахилу викликано збільшенням результуючої сили, яка значно перевищує сили опору руху спливаючої бульбашки.

За даними практики оптимальна швидкість переміщення газоподібної фази для бульбашок крупності флотації складає 50-150 мм/с при кутах нахилу пластинок в межах 25-55 градусів.

Таким чином, проведене моделювання продемонструвало прийнятну поведінку комп'ютерної моделі при моделюванні окремих стадій процесу взаємодії фаз при збагаченні флотації і довело її ефективність.

Висновки

1. Експериментальні методи прямого виміру параметрів взаємодії є складними, тривалими і часто дають неоднозначні результати.
2. Чисельний метод моделювання дозволяє досліджувати тонкі процеси на мікрорівні в маленьких масштабах часу.
3. Виконаний для налаштування чисельної моделі імітаційний експеримент по дослідженню спливання повітряної бульбашки уздовж похилої пластинки з гідрофобного матеріалу показав, що швидкість спливання бульбашки при різних кутах нахилу змінюється в межах порядку 20-70 мм/с.
4. Критичний кут нахилу пластинки при імітаційному експерименті склав 150.
5. Проведене імітаційне моделювання показало порівнянність результатів з даними фізичного експерименту.
6. Проведене моделювання продемонструвало прийнятну поведінку комп'ютерної моделі при моделюванні окремих стадій процесу взаємодії фаз при збагаченні флотації і довело її ефективність.

Список використаної літератури

1. Гарковенко Е.Е. Взаємодія фаз при обезводненні тонких класів вугілля / Е.Е. Гарковенко // Збагачення корисних копалин. – Дніпропетровськ. – 2001. – №13(54). – С. 116-121.
2. Ємельянов Д.С. Основи флотації вугілля / Д.С. Ємельянов. – Харків: ХГУ, 1958. – 290 с.
3. Гарковенко Е.Е. Особливості флотації і обезводнення тонкодисперсних вуглевмісних матеріалів / Е.Е. Гарковенко, Е.И. Назимко, А.И. Самойлов, Ю.Л. Папушин. – Донецьк: Норд-прес, 2002. – 266 с.
4. Гарковенко Е.Е. Особенности флотации и обезвоживания тонкодисперсных углесодержащих материалов / Е.Е. Гарковенко, Е.И. Назимко, А.И. Самойлов. – Донецк: Норд-пресс, 2002. – 256 с.

Надійшла до редакції 03.04.2014

Е.И. Назимко, В.И. Друц

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ФАЗ ПРИ ОБРАЗОВАНИИ ФЛОТАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА

В данной работе рассмотрена компьютерная модель для моделирования кинетики взаимодействия фаз при обогащении. В ходе проведения имитационного эксперимента была поставлена задача определения параметров взаимодействия частиц и пузырьков при образовании флотационного комплекса. Проведена проверка работоспособности численной модели и настройки ее параметров, полученные данные продемонстрировали приемлемое поведение компьютерной модели при моделировании отдельных стадий процесса взаимодействия фаз при обогащении флотацией и доказало ее эффективность.

Ключевые слова: флотация, флотационный комплекс, численное моделирование, взаимодействия фаз, цикл, эффективность флотации, угол наклона.

L. I. Nazymko, V.I. Druts

MODELING BEHAVIOR PHASE THE FORMATION OF FLOTATION COMPLEX

In this work we consider a computer model to simulate the kinetics interaction of phases at enrichment. During the simulation experiment was tasked to determining the parameters interaction of particles and bubbles during the formation of flotation complex. Checked performance the numerical model and parameter settings getting data demonstrated acceptable behavior at a computer model simulating the individual stages of the process of interaction phases at enrichment by flotation and this proved its effectiveness.

Keywords: flotation, flotation complex, numerical simulation, interaction phases, cycle, flotation efficiency, angle.