

## МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОВЕРХНІ ЧАСТИНОК НА УТВОРЕННЯ ФЛОТАЦІЙНОГО КОМПЛЕКСУ

*О.І. Назимко, Л.І. Серафімова, ДонНТУ, м. Донецьк, Україна*

Виконане моделювання впливу властивостей поверхні вугільних та породних частинок на час існування флотаційного комплексу.

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** В останні роки в промисловій практиці спостерігається зменшення розповсюдження флотаційного збагачення вугільних шламів, особливо це торкається вугілля енергетичних марок та малоцінного. Флотація як процес сепарації має відносно високу собівартість. Крім цього виникає необхідність зневоднення частинок шламової крупності, для якого найбільш широко використовується термічне зневоднення. Відомо, що сушіння має найбільшу коштовність серед технологічних процесів та має негативні наслідки для навколишнього середовища у вигляді викидів до атмосфери шкідливих газів та твердих частинок. Тому певна кількість вуглезбагачувальних підприємств відмовились від збагачення вугільних шламів, особливо фабрики, де переробляється енергетичне вугілля. При цьому слід підкреслити, що досягти необхідного зниження зольності шламів коксівного вугілля неможливо без використання його флотаційного збагачення. При підготовці вугілля як палива чи сировини для металургійної або коксохімічної галузі виробництва, яке повинно відповідати певним умовам якості, повний цикл його збагачення являється необхідним. В сучасних умовах розвитку ринкових відносин відповідність якості концентратів умовам споживачів є визначальним фактором для успішної господарської діяльності підприємства.

Таким чином, флотація як найбільш ефективний та потужний з процесів збагачення тонких шламів потребує подальших досліджень з метою його інтенсифікації.

При цьому важливе значення має також повнота вилучення пальної маси не тільки при збагаченні крупних і мілких класів, де особливих проблем немає, а і для шламових продуктів [1]. В зв'язку з вищесказаним дослідження флотації як одного із процесів збагачення шламів є актуальним науково-практичним завданням.

**Аналіз досліджень та публікацій.** На даному етапі розвитку технології збагачення автори ряду робіт продовжують приділяти увагу флотаційному збагаченню мінеральної сировини та подальшому розвитку його теоретичних основ [2-4]. Особливої уваги потребує елементарний акт флотації, тобто утворення флотаційного комплексу „мінеральна частинка-повітряний пухирець” як база процесу сепарації з використанням різниці в фізико-хімічних властивостях поверхонь, що взаємодіють при флотації.

Розвиток в останні часи комп'ютерних методів дослідження та моделювання різних тонких явищ при взаємодії фаз дозволяє краще розумітися з їх природою, виявляти нові фактори керування процесами, досягати більш високих технологічних результатів.

**Постановка задачі.** Метою даної роботи є моделювання впливу властивостей поверхні частинок на утворення флотаційного комплексу на мікрорівні за допомогою комп'ютерного моделювання.

**Викладення матеріалу та результати.** Чисельне моделювання як метод дослідження тонких процесів на мікрорівні набуває все більш широкого використання. Основу моделі складає метод, що базується на розгляданні взаємодії окремих дискретних елементів [5]. Методика моделювання досить докладно опублікована нами раніше в роботах [6, 7]. Тому в даній роботі можемо зупинитися на нових результатах, що були одержані, та їх аналізі.

В ході моделювання виконано дослідження взаємодії твердої частинки, що падає, та повітряного пухирця, що спливає вгору, шляхом комп'ютерних розрахунків впродовж 140000 циклів. Один цикл розрахунку відповідав  $10^{-6}$  с натурального часу. Координати центрів ваги елементів та стан комплексу накопичується в вихідному файлі кожні 200 циклів. Для розрахунку прийнято взаємодію фаз: повітряної бульбашки та частинки вугілля кулеподібної фо-

рми з діаметрами в вибраному масштабі в пікселях. Діаметр пухирця складав 2,5, а частинки 0,36 мм. Частинка падає вниз, при цьому абсциса її центру ваги зміщена відносно абсциси центру ваги пухирця на 0,1 значення його радіусу.

Моделювання дає змогу визначати шляхом розрахунків змінювання положення центрів ваги елементів, які беруть участь у взаємодії, а також кути повороту їх радіусів.

На рис. 1 показано етапи взаємодії елементів при утворенні флотаційного комплексу при високих швидкостях їх руху у вигляді анімаційних фрагментів, які були відбиті на екрані монітора (в верхній частині фрагментів видно інтерфейс комп'ютерної програми).

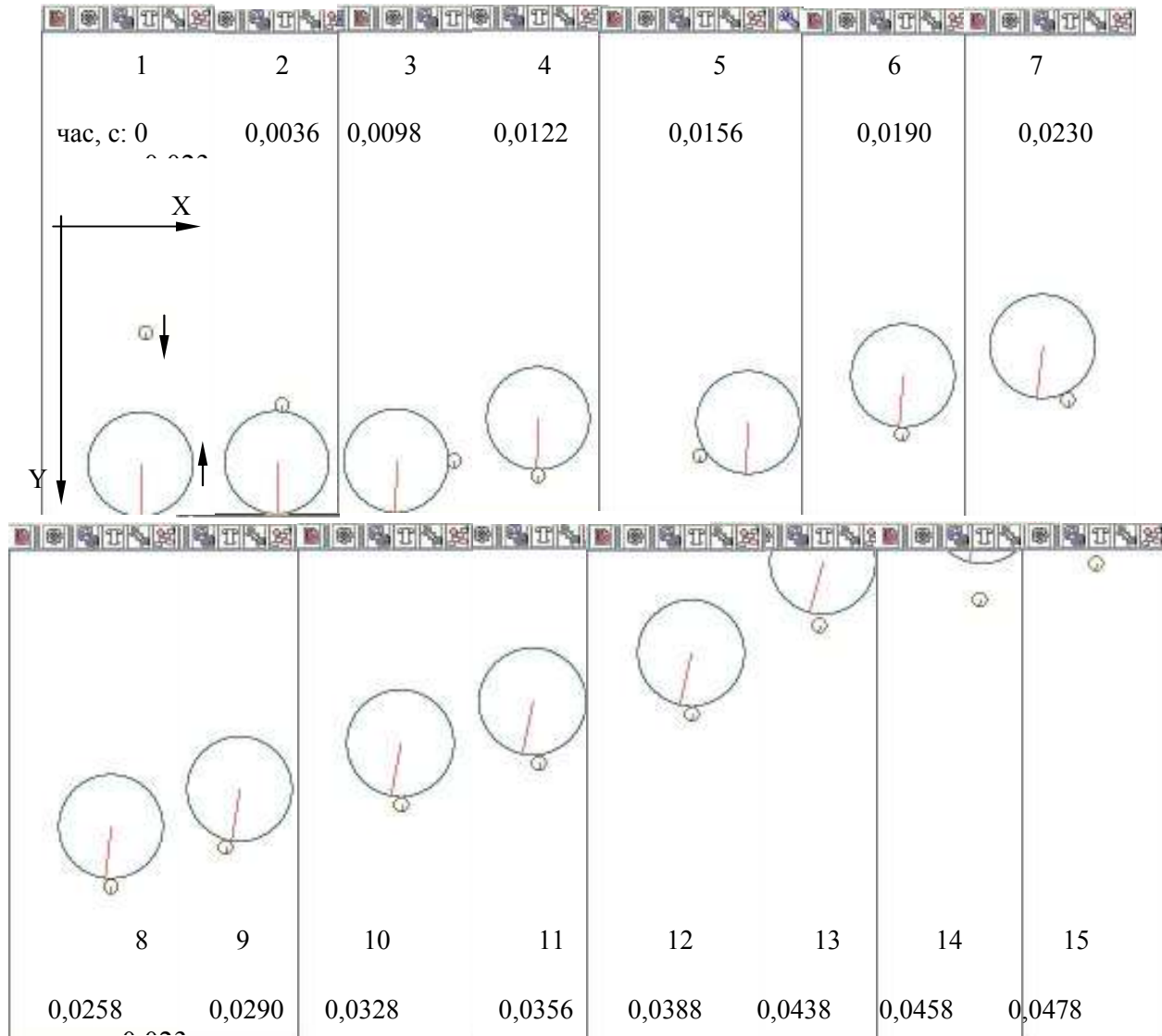


Рис. 1. Взаємодія елементів при утворенні та спливанні флотаційного комплексу „вугільна частинка-повітряний пухирець”

На першому фрагменті показано первинне розташування елементів (час дорівнює 0с), напрямки осей координатної сітки та руху частинки і пухирця.

Аналіз анімаційних даних свідчить про наступне. Після зіткнення спливання повітряного пухирця на малий час гальмується за рахунок закріплення важкої твердої частинки (фрагмент 2). Вугільна частинка ковзає по поверхні бульбашки і займає крайнє праве положення (фрагмент 3), при цьому виникає поворот обох взаємодіючих елементів на малий кут, про що свідчить змінювання положення радіусу елементів.

Ковзання частинки продовжується при одночасному спливанні вверх флотаційного комплексу до крайнього нижнього положення на поверхні пухирця (фрагмент 4, час дорівнює 0,0122с). Далі частинка піднімається по поверхні пухирця до крайнього лівого положення за рахунок високої первинної швидкості руху та сил інерції (фрагмент 5). Потім знову проходить крайнє нижнє положення і піднімається на певну висоту праворуч по поверхні бульбашки (фрагменти 6 та 7). Таким чином виникає рух твердої частинки в нижній частині поверхні повітряного пухирця, схожий на рух маятника.

Далі ковзання частинки по поверхні нижньої півсфери пухирця продовжується з підйомом на все меншу висоту за рахунок гальмування (фрагменти 6-12, час з 0,019 до 0,0438с). При цьому відбувається спливання флотаційного комплексу вверх та повільне обертання елементів, що взаємодіють. Фрагмент 13 свідчить про відрив частинки від пухирця при невеличкому зміщенні вліво від крайнього нижнього положення на його поверхні.

На фрагментах 14 та 15 показано такий стан частинки (повітряний пухирець продовжує спливати і зникає за межами екрану монітора). Потім зникає також за межами екрану і тверда частинка, але про початок падіння вниз свідчить траєкторія руху центру ваги частинки, яка одержана на базі обробки цифрового матеріалу, що формується програмою в спеціальних окремих файлах. В цих файлах міститься розрахункова інформація про змінювання абсциси та ординати центру ваги кожного із елементів, що взаємодіють, а також про кут повороту радіусу елемента.

Траєкторії руху центру ваги частинки та пухирця показано на рис. 2.

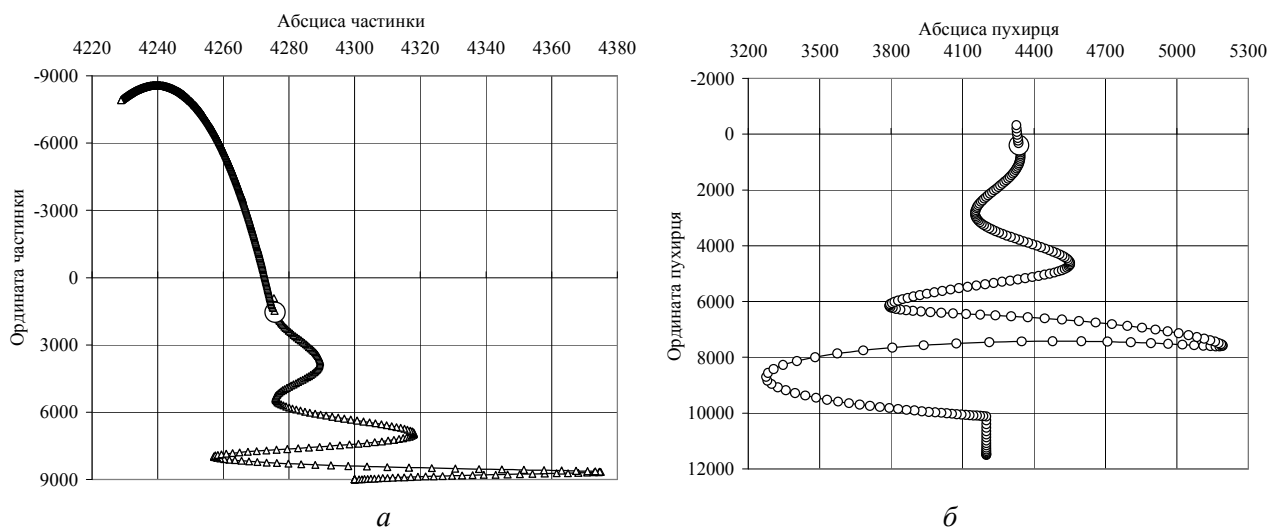


Рис. 2. Траєкторія руху центрів ваги елементів, що взаємодіють: *a* - вугільної частинки, *б* – повітряного пухирця

Початковою точкою руху частинки (рис. 2, а) є точка в нижній часті траєкторії з координатами (4300, 9000), а кінцевою – (4230, -7900). На рис. 2а момент відриву вугільної частинки від пухирця позначений великим маркером. Слід відзначити, що при русі вверх разом з повітряним пухирцем-носієм тверда частинка одержала такий значний імпульс руху, що певний час продовжує рухатися догори і тільки після цього починає падіння вниз.

Координати комп'ютерною програмою моделі розраховуються в пікселях. На графіках, які представлені на рис. 2 а та б, можна прослідити маятниковий рух частинки по поверхні пухирця, коливання центру ваги флотаційного комплексу. Оскільки кожна точка має однаковий приріст мікрочасу розрахунків в ході моделювання, можна зробити висновок про коливання швидкості руху частинки по поверхні бульбашки навіть на перший чверті його поверхні (верхня права півсфера) при одночасному спливанні флотаційного комплексу (див. рис. 2,а). Аналогічний висновок зроблено в роботі [8].

В реальних умовах в камері флотаційної машини, де в наявності є рух маси частинок та повітряних пухирців, зіткнення однієї частинки з пухирцем не може бути одноразовим. При

відриві від „свого” пухирця частинка може зіткнутися з іншим та як би підхоплюється ним, особливо в фазі продовження її руху вгору до пінного шару на поверхні камери машини. Таким чином вірогідність флоатації конкретної частинки може бути підвищена.

До зіткнення з вугільною частинкою повітряний пухирець спливав з постійною швидкістю в напрямку вісі абсцис, по вісі ординат швидкість зменшувалась за рахунок сил опору спливанню (нижня частина траєкторії на рис. 3).

Зіткнення з частинкою, центр ваги якої розташований праворуч відносно центра ваги бульбашки, викликав пересування центра ваги комплексу, що утворився, вліво. Ковзання частинки по поверхні пухирця призвело до коливань центра ваги флоатаційного комплексу. Швидкість цих коливань має значення, які не є постійними. Однак, аналіз прискорень руху елементів не входить до задач даної публікації.

Дослідження поведінки флоатаційного комплексу на мікрорівні, які були виконані, дозволяють прийти до висновку, що при взаємодії елементів – вугільної частинки та повітряної бульбашки – виникають ковзання частинки по поверхні нижньої півсфери пухирця при одночасному спливанні комплексу. Такий рух частинки спричиняє коливання координат центру ваги, подібного до маятникового руху.

При певних значеннях первинних швидкостей руху елементів та утвореного комплексу в цілому виникає такий момент руху, що навіть при руйнуванні комплексу і відриві частинки від поверхні пухирця частинка продовжує деякий час рух догори, не зважаючи на опір рідини. В практичних умовах таке явище може приводити до підвищення вірогідності зіткнення частинки з другим пухирцем, що спливає, і вірогідності процесу флоатації. Таким чином можна зробити висновок про рух гідрофобних частинок, який умовно можна розділити на наступні фази: взаємодія зі спливаючим пухирцем, утворення флоатаційного комплексу, руйнування комплексу, продовження руху частинки догори, падіння вниз, „підхоплення” падаючої частинки іншим спливаючим пухирцем і т.д.

При зіткненні породної частинки з повітряним пухирцем пухирець починає тонути разом з породною частинкою (рис. 3).

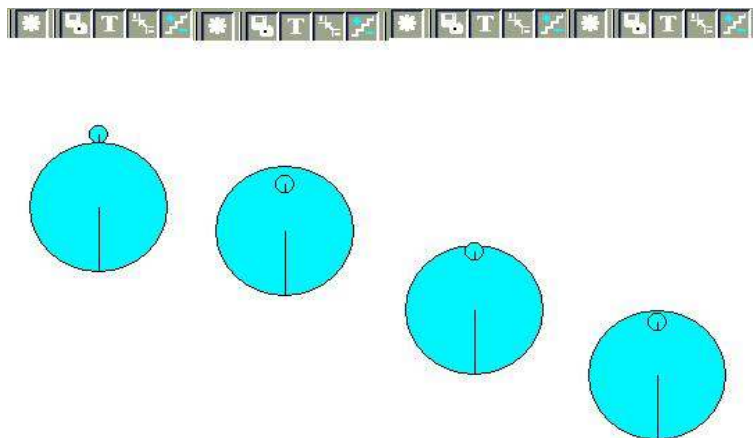


Рис. 3. Поведінка елементів при зіткненні породної частинки та повітряного пухирця при відсутності ексцентриситету

Це відбувається лише при зіткненні з відсутністю ексцентриситету, тобто коли центри ваги елементів знаходяться на одній лінії. В такому випадку обертання елементів відсутнє. Такий стан можна розглядати як утворення флоатаційного комплексу з породною частинкою. Утворений комплекс хоч і може існувати значний час, але обтяжений пухирець тоне разом з гідрофільною частинкою і не виносить її до пінного шару.

На рис. 4 показано стан елементів (для породи та повітряного пухирця) при наявності малого ексцентриситету ( $e = 0,01$  радіуса пухирця).

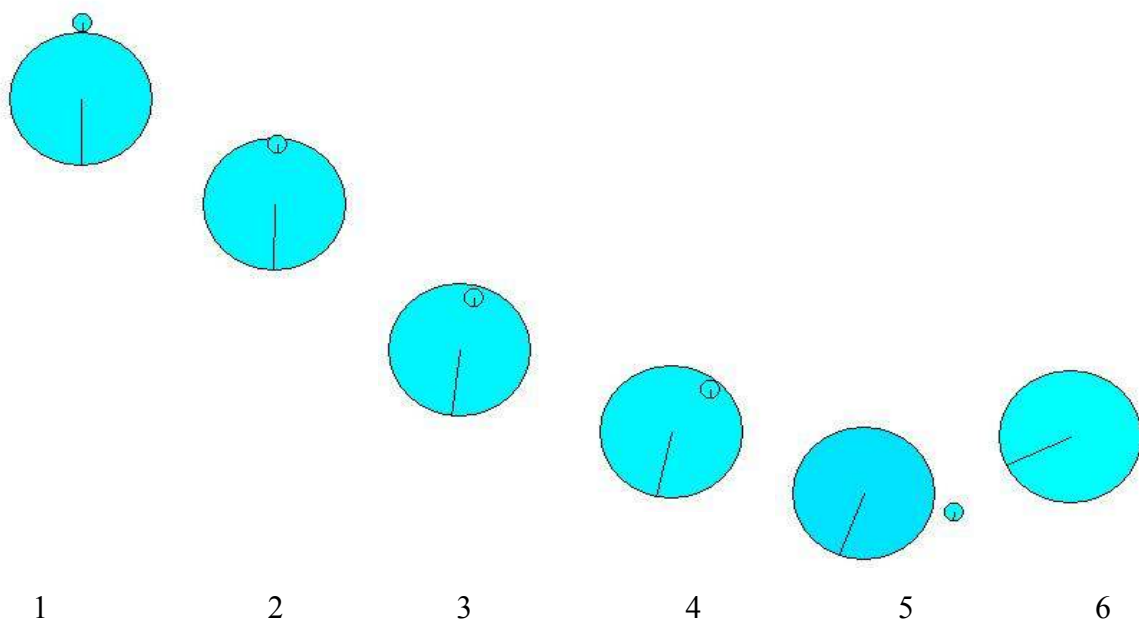


Рис. 4. Зіткнення породної частинки з повітряним пухирцем при наявності малого ексцентриситету

При зіткненні з частинкою повітряний пухирець знову починає тонути та обертатися при зміщенні вліво (фрагмент 2). Породна частинка не закріплюється на поверхні пухирця за рахунок своєї гідрофільності і скочується з його поверхні також обертаючись на невеличкий кут (фрагменти 3-5). Після відриву породної частинки повітряний пухирець починає спливати (фрагмент 6).

При наявності навіть невеличкого ексцентриситету при зіткненні виникає відцентрова сила, котра викликає обертання елементів і скочування гідрофільної частинки з поверхні пухирця. В такому разі флотаційний комплекс не утворюється. Ясно, що основну роль грають властивості поверхні породної частинки – її гідрофільність, яка моделюється при розрахунках за допомогою введення кількох коефіцієнтів.

В ході моделювання підтвержений обертальний рух елементів.

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** Дослідження взаємодії вугільної та породної частинок з повітряним пухирцем при утворенні флотаційного комплексу на мікрорівні за допомогою комп'ютерного моделювання дозволяють зробити висновок про адекватність моделі на базі дискретних елементів. Використання моделі виявило нові деталі флотаційного процесу, які приведені вище.

Подальші дослідження можуть бути направлені на вивчення практичних наслідків встановлених ефектів.

#### Список літератури

1. Е.Е. Гарковенко и др. Уголь в топливно-энергетическом балансе Украины и перспективы повышения его качества // Збагачення корисних копалин. – Дніпропетровськ. – 2007. – вип. 29(70)-30(71). – С. 14-19.
2. Теория и технология флотации руд. О.С. Богданов, И.И. Максимов, А.К. Поднек, Н.А. Янис. Под общей ред. О.С. Богданова. – М.: Недра. – 1990. – 364 с.
3. Физико-химические основы теории флотации. М.: Наука. – 1983. - 264 с.
4. Рубинштейн Ю.Б., Филиппов Ю.А. Кинетика флотации. М.: Недра, 1980. - 376 с.

5. P. A. Cundall, O. D. L. Strack. A discrete numerical model for granular assemblies, *Geotechnique*, **29:1**, 47–65 (1979).
6. Е.Е. Гарковенко, Е.И. Назимко и др. Особенности флотации и обезвоживания тонкодисперсных углесодержащих материалов. – Донецк: Норд-пресс. – 2002. – 256 с.
7. Е.И. Назимко, И.Н. Друц. Исследование кинетики взаимодействия мелких частиц с пузырьками воздуха в процессе флотации // Збагачення корисних копалин. Днепропетровск. – 2003. – вып. 18(59). - С. 95-102.
8. И.Н. Друц. Кинетика взаимодействия фаз при флотации. // Вісник Криворізького технічного університету. – Кривий Ріг: КТУ. – 2006. - №12. – с. 80-84.