

УДК

В.В. Сергєєв, В.Д. Рудь, С.С. Панасюк  
Луцький державний технічний університет

## ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ СТРУКТУРНИХ ПАРАМЕТРІВ КАРБІДО-СТАЛЕЙ

*В роботі проведено аналіз існуючих методів дослідження фізико-структурних властивостей порошкових матеріалів із подальшим акцентом на аналітичних методах дослідження, зокрема методі математичного моделювання структури.*

В сучасному світі все більший і більший інтерес проявляється до порошкових матеріалів. Поряд з високими фрикційними, антифрикційними, магнітними, проникливими властивостями ці матеріали мають також і високу вартість. Дослідження даних матеріалів вимагають величезних капіталовкладень. Методи математичного та імітаційного моделювання дозволяють отримати важливі результати вже на початкових етапах без значних затрат. Ці результати в подальшому допоможуть спрямувати дослідження.

Імітаційні моделі поділяються по предмету опису на два основних класи: перший клас моделей представляє структуру матеріалу у вигляді пор; другий клас моделює структуру як скелет пористого тіла. Ці два класи моделей взаємно доповнюють одна одну. До першого класу відносяться моделі, що замінюють складний простір сукупністю характерних елементів – пор певної форми і розміру. До другого класу відносяться моделі, що представляють скелет пористого тіла у вигляді упаковки твердих частинок найпростішої форми. При описі процесів, що протікають в порах, віддають перевагу використанню моделей першого класу, а при описі фізико-хімічних властивостей пористих матеріалів (міцності, пружності і ін.) другого класу. Імітаційні моделі другого класу, які є більш наглядними і були прийняті за основу в наших дослідженнях.

Перші моделі відображали процес формування структури пористого матеріалу на площині, так звані 2D моделі. Робочий простір моделі зображено на рис. 1.

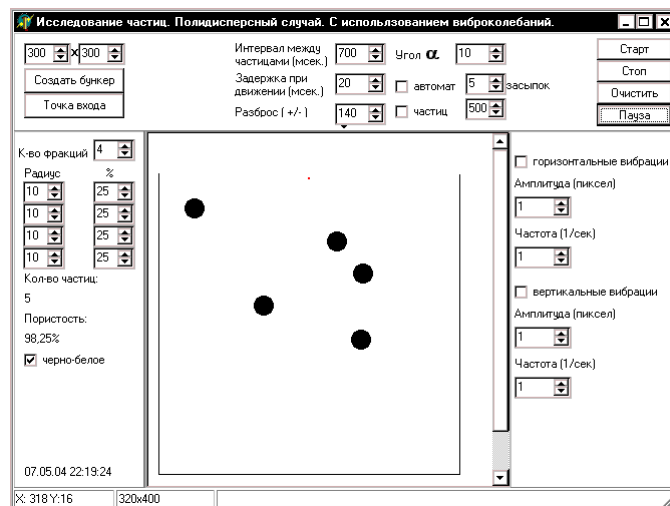


Рис. 1 Робоче вікно програми

Проте за допомогою навіть такої простої математичної моделі можна було розраховувати різноманітні параметри структур, форми елементів яких відрізняються від ізометричних. Практично з достатньою точністю можна було розраховувати діелектричні, електропровідні, магнітні і їм подібні характеристики. Похибка в розрахунках при використанні даної моделі лежала в межах статистичної похибки.

На сьогоднішній день розроблена і успішно використовується імітаційна модель, що реалізована в середовищі OPEN GL і наочно відображає просторовий процес формування структури пористого матеріалу.

В програмі реалізовано метод імітаційно-комп'ютерного моделювання процесів формування пористих заготовок з вільною засипкою (під впливом сили тяжіння) монодисперсних та полідисперсних пористих матеріалів. Наявний функціонал для проведення обчислювального

експерименту з врахуванням сили тяжіння, густини матеріалу, а також коефіцієнта тертя між частинками матеріалів.

Після запуску на екрані монітора з'явиться робоче вікно програми (рис. 2):

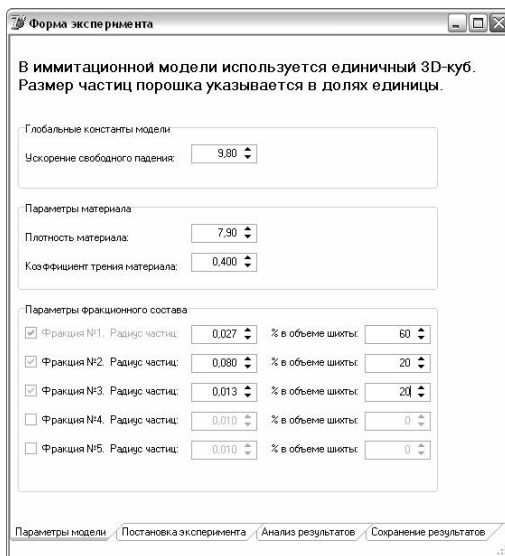


Рис. 2. Робоче вікно програми

Для проведення експерименту потрібно:

1. Задати глобальні константи моделі (пришвидшення вільного падіння);
2. Вказати густину, а також коефіцієнт тертя між частинками матеріалу;
3. Визначитись з кількістю фракцій, радіусом частинок (в долях від одиничного куба), а також їх процентним співвідношенням в об'ємі шихти;
4. Перейти на наступну вкладку програми та натиснути на піктограму "Старт".

Після виконання вищевказаних пунктів програма розпочне моделювання процесу формування і матиме наступний вигляд (рис. 3):

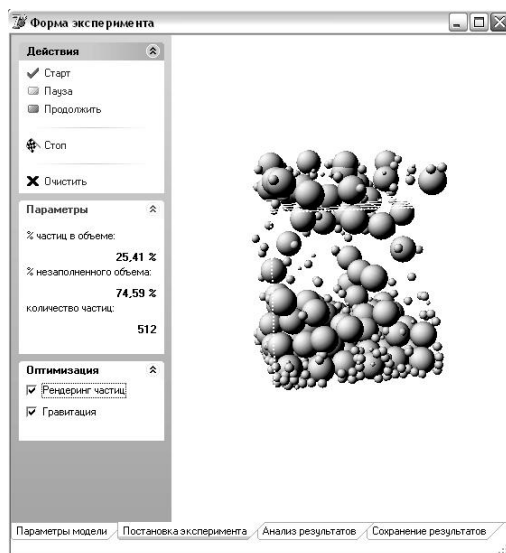


Рис. 3. Модельний експеримент

Для зручності передбачена можливість в будь-який час зупинити програму, натиснувши на піктограму "Пауза", а також відновити процес засипки за допомогою піктограми "Продовжити".

Для упаковки кожної чергової сфери розігруються дві випадкові координати її центру, після чого сфера займає положення з мінімальним значенням третьої координати, не перетинаючи ні граней контейнера, ні раніше упакованих сфер. Якщо поблизу цих координат немає сфери, з якою могла б стикатися пакована, не міняючи розіграних координат центру, вона приймає значення третьої координати, рівне радіусу. В подальшому сфера може дотикатися з однією раніше

упакованих. Серед упакованих сфер відшуковуються дві найближчі сфери за умови, що центр пакованої сфери знаходиться від граней контейнера далі величини діаметра.

Після цього розраховують координати пакованої сфери виходячи з умови дотикання її з двома відібраними раніше. При розміщенні центру пакованої сфери ближче до грані контейнеру ближче за діаметр відшуковують координати пакованої сфери, при цьому їх розраховують з умови додаткового дотикання з баковою гранню і відібраною сферою. Якщо центр пакованої сфери знаходиться ближче за діаметр до двох граней контейнера, координати її відшуковують з умови додаткового стикання з цими гранями. Якщо пакована сфера з розрахованими координатами центру не перетинає раніше упакованих сфер, координати центру записують в масив пам'яті ЕВМ, де зберігаються координати всіх упакованих сфер.

У разі перетину сфер координати центру пакованої сфери відкидають і процес упаковки її повторюють, починаючи з розіграшем двох випадкових координат її центру. В приведеній блок-схемі (рис. 4) програма відрізняється від програми моделювання щільних упаковок розподілених сфер тільки способом розрахунку координат центру пакованої сфери. Тому в даній блок-схемі більш детально описуються нові блоки, наслідувані ж будуть описані стисло.

Як і раніше, упаковку сфер проводять в контейнері прямокутної форми, причому заповнення також здійснюють поетапно: спочатку один контейнер кубічної форми, на нього інший і т.д. при цьому в оперативній пам'яті ЕВМ зберігаються координати тільки останніх  $n$  упакованих сфер, що беруть участь в процесі заповнення.

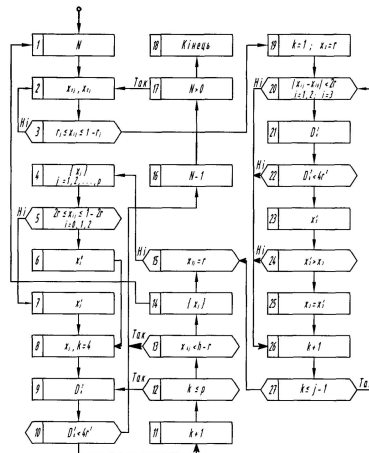


Рис. 4. Блок-схема програми моделювання випадкового щільного заповнення об'єму рівними сферами.

Для аналізу отриманих результатів необхідно перейти на наступну вкладку програми ("Аналіз результатів"), де можна отримати дані про щільність заповнення, пористість, а також дисперсію частинок відповідно по осям OX, OY, OZ (рис. 5):

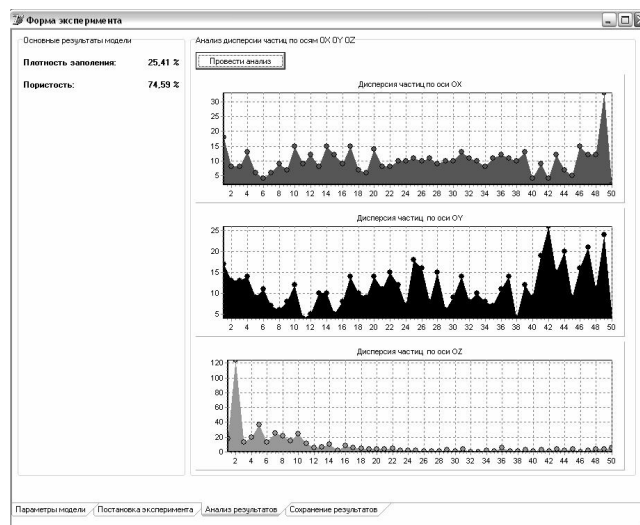


Рис. 5. Аналіз результатів експерименту

Результати можна накопичувати в проміжній. Це зроблено для забезпечення можливості накопичення даних при одному наборі параметрів для подальшого усереднення результатів.

Аналіз можна проводити як після завершення експерименту, так і у реальному часі – під час засипки часток.

Отриману інформацію можна зберегти в форматі придатному для роботи в редакторі електронних таблиць.

### Висновки

На даному етапі розвитку наукової думки імітаційне моделювання є одним з ефективних методів наукового дослідження.

Це зумовлено перш за все появою і широким розповсюдженням ЕОМ. Комп'ютер дав можливість точно, швидко проводити громіздкі обчислення; будувати наглядні структурні схеми; створювати аналітичні системи, що надають змогу зображати реальні властивості і сторони досліджуваних об'єктів; здійснювати математичні операції, що потребують великих затрат часу.

Моделювання структури дисперсних матеріалів дає можливість отримати додаткову інформацію про процеси, що відбуваються при їх виготовленні та експлуатації і тим самим полегшити контроль і оптимізацію процесів їх виготовлення.

1. В.А. Воробьёв, В.К. Кивран, В.П. Корекин. Применение физико-математических методов в исследовании свойств бетона. Пособие для ВУЗов. М.: "Высшая школа". 1977 - 271с.
2. Алиевский В.М., Кадушников Р.М., Каменин И.Г., Алиевский Д.М. Компьютерное моделирование упаковок разноразмерных сфер // Матеріали міжнародного семінару "Реологічні моделі та процеси деформування пористих і композиційних матеріалів". - Київ-Луцьк. - 1997.- С. 68.
3. Рудь В.Д., Лотиш В.В., Гуменюк Л.О., Про комп'ютерне моделювання пакування частинок // Порошковая металлургия, 2002, №5-6.