

УДК 004.42(07)

Н.А. Христинець

Луцький національний технічний університет

## СПОСОБИ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ В ПРОЦЕСІ ТЕОРЕТИЧНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВЕДІНКИ ПОРОШКОВИХ СУМІШЕЙ

**Христинець Н.А. Способи імітаційного моделювання в процесі теоретичного дослідження поведінки порошкових сумішей.** В роботі проведено дослідження параметрів імітаційних методів поведінки дисперсних сумішей порошків для отримання градієнтного матеріалу з урахуванням вібраційних характеристик.

**Ключові слова:** вібраційне формування, імітаційна модель, порошкова суміш, дисперсне середовище, частки порошків, сегрегація.

**Христинець Н.А. Способы имитационного моделирования в процессе теоретического исследования поведения порошковой смеси** В работе проведено исследование параметров имитационных методов поведения дисперсных смесей порошков для получения градиентного материала с учетом вибрационных характеристик.

**Ключевые слова:** вибрационное формирование, имитационная модель, порошковая смесь, дисперсная среда, частицы порошков, сегрегация.

**N. Hrystynets. Methods in process simulation theoretically investigation of behavior powder mixture.** This paper studied the vibration parameters for obtaining the gradient forming material with intermediate values of the height of the existing layers and heterogeneous characteristics of the height of the sample.

**Key words:** vibration molding, plastic deformation gradient separation, modeling, dispersed mixture.

**Постановка проблеми у загальному вигляді і її зв'язок з важливими науковими та практичними завданнями.** З удосконаленням комп'ютерних технологій, появою нових математичних методів розрахунку в останнє десятиріччя інтенсивно розвивається методологія і практика математичного та комп'ютерно-імітаційного моделювання технологічних процесів порошкової металургії.

**Аналіз останніх досліджень, у яких започатковано вирішення проблеми.** На сьогоднішній день питання візуального моделювання процесу вібраційного формування порошкових матеріалів присвячено багато робіт як вітчизняних, так і зарубіжних авторів. Зокрема, розроблено ряд програмних продуктів, що дозволяють дослідити процеси сегрегації сумішей методами молекулярної динаміки, дискретних елементів тощо.

**Цілі статті.** Метою статті є узагальнення існуючих методів побудови імітаційних моделей поведінки дисперсних сумішей з подальшим виявленням характеру розподілу у них основних компонентів.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Вивчення структурних характеристик металів і сплавів – одна з ключових задач сучасного матеріалознавства, на основі якої базується процес створення нових та покращення властивостей вже існуючих матеріалів. Реалізація високоякісного металографічного аналізу пов'язана з відомими труднощами, що зумовлені великими фізичним навантаженням на організм дослідника (зокрема органи зору), суб'єктивністю спостережень та невеликою швидкістю процесу дослідження. Застосування приладів, які працюють на основі лінійної механічної розгортки оптичних об'єктів вносить свої обмеження на інтерпретацію сигналів, що одержуються, а також позбавляє можливості „інтелектуального” втручання у процес вимірів

Система віброформування порошкової суміші може бути описана алгоритмом імітації. Відтворення за допомогою комп'ютерної програми процесу функціонування складної системи поведінки часток у віброуючому контейнері в часі було розглянуто раніше. У результаті багатократних прогонів імітаційних моделей було отримано інформацію про властивості реальної системи.

До імітаційного моделювання прибігають, коли:

- дорого або неможливо експериментувати на реальному об'єкті;
- неможливо побудувати аналітичну модель, тому що в системі є час, причинні зв'язки, наслідки, нелінійності, стохастичні (випадкові) змінні;
- необхідно зімітувати поведінку системи в часі.

Імітаційне моделювання може застосовуватися у різних сферах діяльності. Особливо ефективним є це моделювання при вирішенні наступних завдань:

- проектування та аналіз виробничих систем;
- оцінка різних систем озброєнь;
- визначення вимог до устаткування та протоколів мереж зв'язку;
- модернізація різних процесів у діловій сфері;
- аналіз фінансових і економічних систем.

Тобто, при моделюванні процесу формування виробу, імітаційна модель виступає як можливість конструкторського вирішення системного аналізу і технологічного завдання розподілу часток дисперсного середовища. Своєю речю, вона є інструментальним засобом, що забезпечує автоматизовану підтримку самого процесу. Автоматизована підтримка інших етапів системного аналізу засобами імітаційної системи не є обов'язковою. Однак саме ступінь автоматизації визначає можливості імітаційної системи і є основою їх класифікації. З урахуванням етапності системного аналізу і технологічних завдань, що розв'язуються на них, виділимо можливий набір засобів імітаційної системи, що автоматизують виконання ряду функцій, реалізованих на цих етапах.

Створення моделі може бути підтримано наступними засобами автоматизації:

- а) частково готовою моделлю або моделями;
- б) компіляторами з алгоритмічної мови високого рівня, спеціалізація якого полегшує процес складання алгоритмів імітації;
- в) спеціальною мовою високого рівня, що дозволяє виконати інформаційний або математичний опис моделі системи;
- г) конверторами моделей, що дозволяють здійснювати перетворення моделей одного виду в моделі іншого виду (інформаційної в математичну, математичної в імітаційну, інформаційної в імітаційну);
- д) засобами контролю погодженості різних видів моделей з концептуальним поданням моделі.

Перевірка адекватності та технічної реалізованості може виконуватися з використанням:

- а) програм обчислення показників адекватності;
- б) автоматизованої технології проведення обмеженого експерименту з імітаційною моделлю;
- в) програм обчислення характеристик складності моделі;
- г) програм обчислення ресурсних показників методу рішення завдання.

Корекція моделі може забезпечуватися:

- а) автоматизованими технологіями редагування текстів моделей;
- б) програмами еквівалентних перетворень математичних і алгоритмічних моделей заданого класу.

Створення алгоритму рішення завдання може підтримуватися:

- а) методоорієнтованими бібліотеками та пакетами програм;
- б) конструкторами алгоритмів рішення завдань;
- в) інформаційними системами підтримки прийняття рішень тощо.

Складання і уточнення схеми рішення завдання може виконуватися з використанням:

- а) програмних засобів контролю інформаційної сумісності сімейства завдань;
- б) редакторів текстів обчислювальних схем тощо.

В теорії напружень та деформацій дисперсна середовище, що складається з безлічі дискретних частинок, може бути розглянута як статистичний макроскопічний еквівалент, доступний для математичного аналізу методами механіки суцільного середовища.

Однак, з одного боку це твердження може бути обґрунтоване на відомих допущеннях теорії механіки суцільного середовища про однорідність і сплошності середовища, а з іншого - в статистичному макроскопічному еквіваленті сипучого середовища механікою суцільного середовища не було прийнято ніяких припущень або умов про співвідношення між навантаженнями і деформаціями, як це зроблено стосовно рідини, газу та твердого тіла, що деформується. Ці співвідношення повинні встановлюватися

експериментально в кожному конкретному випадку. Крім того, сама природа процесу градиентного вібраційного поділу передбачає кінцевою метою досягнення неоднорідності, градиентному дисперсної суміші.

Укрупнене процес моделювання розділимо на 2 частини:

1) моделювання при дії вібрації поведінки ДС, як суцільний, з певними застереженнями;

2) імітаційне моделювання руху частинки в ДС.

Для створення рухливості частинок дисперсний матеріал приводять в сдвигове рух, при якому повинно долатися порогове тертя між частинками.

Так, в роботі [1] моделювання вібраційної сегрегації здійснювалося за аналогією з методом молекулярної динаміки за допомогою готового програмного продукту. Метод молекулярної динаміки є однією з різновидів методу динаміки часток, коли в якості часток виступають атоми або молекули. У разі, коли частки являють собою більші утворення (зерна, гранули, макроскопічні частинки), часто використовують термін «молекулярна динаміка», хоча правильніше в цьому випадку говорити про динаміку часток або дискретних елементів. Метод дискретних елементів був використаний для імітаційного моделювання і вперше застосований для дослідження механіки гірських порід. При моделюванні процесу цим методом задаються початкові положення і швидкості частинок. Потім, виходячи з цих початкових даних і також задаються фізичні закони взаємодії частинок, обчислюються сили, що діють на кожну частинку. При цьому можна враховувати самі різні закони взаємодії, достатньо, щоб для їх опису існували розв'язувані рівняння.

Найбільш відомі програми для розрахунків методом дискретних елементів – Chute Maven (Hustrulid Technologies Inc.), PFC2D і PFC3D, EDEM (DEM Solutions Ltd.), GROMOS 96, ELFEN, MIMES, PASSAGE®/DEM.

На рис. 3.4 представлені деякі результати досліджень з використанням програми (DEM Solutions Ltd) для двох, трьох і чотирьох типів часток, що відрізняються як за розмірами, так і за щільністю [2].

Представлені зображення є фрагментами імітаційного моделювання і відповідають досить великому часу протікання процесу, при якому стан сумішей можна вважати стаціонарним. Кожному малюнку поставлена у відповідність колонка чисел, що вказує на відносні щільності частинок, відносні розміри яких показані в другій колонці. Рис. 3.4 а) описує випадок ефективного поділу трьох типів частинок, що відрізняються як за щільністю, так і за розмірами. На рис 3.4 б) і в) показано проблемне розділення трьох і двох типів часток однакової щільності, що відрізняються за розміром. На рис. 3.4 г) представлена картина поділу суміші чотирьох типів частинок у випадку, коли два сорти великих і два сорти дрібних частинок, що відрізняються в два рази по щільності, мають однаковий розмір. В цьому випадку розділення ефективне, але вимагає значно більшого часу. Рис. 3.4 д) і е) відповідають ефективному розділенню часток з різними комбінаціями щільностей і розмірів.

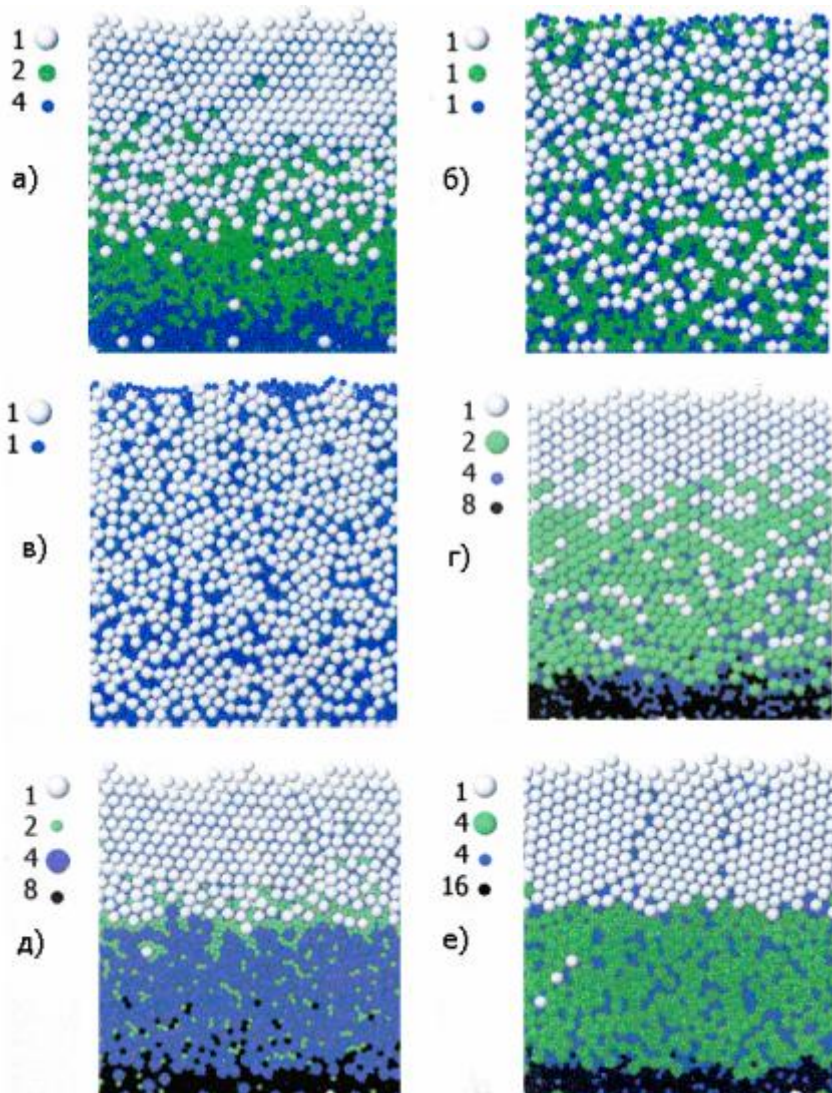


Рис. 1.1 – Деякі результати досліджень вібраційної сегрегації методами імітаційного моделювання

Особливий інтерес представляє якісне дослідження поведінки двокомпонентних сумішей для з'ясування принципових закономірностей їх поведінки під дією вібрації. На рис. 3.5 представлено стан двокомпонентної суміші часток рівних діаметрів (1,5мм) через 60с. впливу вібрації з амплітудою 2мм і частотою 25Гц з різним співвідношенням щільності.

При поділі сипучої речовини одночасно протікають два процеси: рух окремих частинок під дією локальних деформацій середовища і просіювання дрібних фракцій під дією гравітації через решітку великих часток.

Тому природно було б при описі реології ДС нарівні з рівняннями нерозривності, перенесення імпульсу та масопереносу використовувати і рівняння дифузії. Не кажучи про складність реалізації такої моделі, вона, тим не менш, не гарантує отримання адекватного результату через істотно стохастичного характеру самого процесу поділу. Якщо рішення рівнянь механіки суцільного середовища при деяких припущеннях ще можна звести до хоча б чисельному увазі, то дифузионная складова просто втрачає сенс з причини істотно стохастичного характеру самого процесу дифузії. Тому в даній роботі розглядається методика отримання математичної моделі вібраційного поділу дисперсної середовища в декілька етапів, що містять ітераційні процедури на основі уточнення прийнятих припущень в процесі імітаційного моделювання.

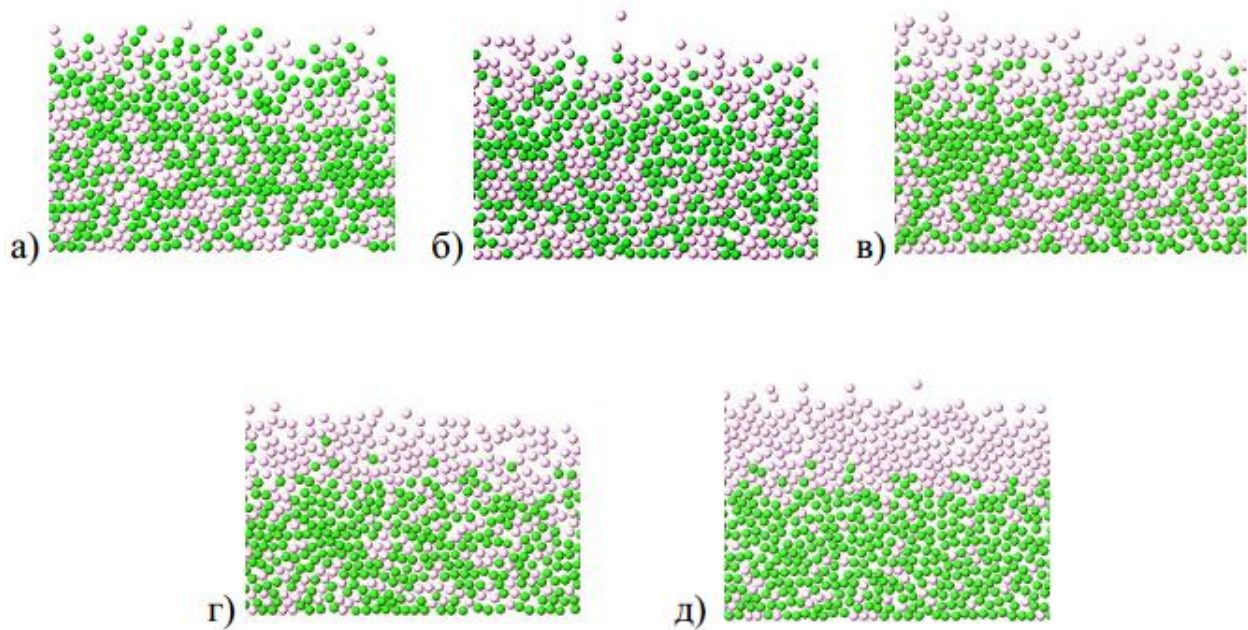


Рис. 1.2 –Результати імітаційного моделювання розділення порошкової суміші. Відношення щільностей: а) 1.125, б) 1.25, в) 1.5, г) 2, д) 5.

Природньо, що ефективність розділення зростає в міру збільшення відношення щільностей.

**Висновки.** Огляд методів імітаційного моделювання показав, що є можливість досить наочно і зручно візуалізувати процес моделювання за допомогою комп'ютера. Проте, і цей спосіб має свої недоліки. По-перше, ряд програмного забезпечення, як наприклад EDEM, має високі вимоги щодо обчислювальних ресурсів. Також очевидним є те, що при обчисленні рухів кожної частки описаними методами виникають похибки, а задача обчислення індивідуальних траєкторій має досить нелінійний характер.

#### Список використаних джерел.

1. Механічні та комп'ютерні моделі консолідації гранульованих середовищ на основі порошків металів і кераміки при деформуванні та спіканні: монографія/ М.Б. Штерн, В.Д. Рудь /за ред. академіка НАН України В. В. Скорохода. - Київ-Луцьк: РВВ ЛНТУ, 2010. - 232 с.
2. Патент України № 4623 U МПК 7 B01D35/02. Фільтр / В.Д.Рудь, О.Ю.Повстяной, О.В.Заболотний, Заявл.01.07.04; опубл. 17.01.05. Бюл.№1, 2005.
3. Бальшин М.Ю. Теория и практика прессования металлических порошков // Порошковая металлургия. – 1974. – № 6. – С. 37-39.
4. Витязь П.А., Шелег В.К. Капцевич В.М. Прогнозирование свойств спеченных проницаемых материалов с переменной по сечению пористостью бидисперсной глобулярной модели. – Мн.: Вышэйшая школа, 1980, - Вып.4. – с.68-72.
5. Радомысельский И.Д., Холодный И.П. Спеченные легированные конструкционные стали // Порошковая металлургия. – 1975, – № 6. – С. 59-71.
6. Щербань Н.И. Влияние пористости на механические свойства материалов, получаемых методами порошковой металлургии // Порошковая металлургия. – 1973, – № 10. – С. 70-77.