

УДК 621.762:678-19

**В.В. Шиберко**  
**КОМПЛЕКС МОДЕЛЮВАННЯ ТА ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ СИПУЧИХ**  
**МАТЕРІАЛІВ**

*Описано структурну та хімічну неоднорідність, а також неоднорідність за щільністю в сипких матеріалах. Розроблено алгоритм розрахунку фракційного складу полідисперсного та полікомпонентного сипкого матеріалу з однорідною та неоднорідною структурою. Для матеріалу з неоднорідною структурою запропонований алгоритм дозволяє визначити фракційний склад кожної з локальних областей матеріалу. Його можна використовувати для зіставлення результатів ситового аналізу полідисперсного сипкого матеріалу, одержаних за різних умов.*

*Ключові слова:* фракції, ситовий аналіз, сипкі матеріали.

*Рис. 3. Форм. 17. Літ. 4.*

**В.В. Шыберко**  
**КОМПЛЕКС МОДЕЛИРОВАНИЯ И ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ СЫПУЧИХ**  
**МАТЕРИАЛОВ**

*Описаны структурная и химическая неоднородность, а также неоднородность по плотности в сыпучих материалах. Разработан алгоритм расчета фракционного состава полидисперсного сыпучего материала с однородной и неоднородной структурой. Для материала с неоднородной структурой предложенный алгоритм позволяет определять фракционный состав каждой из локальных областей материала. Его можно использовать для сравнения результатов сытового анализа полидисперсного сыпучего материала, полученных при разных условиях.*

*Ключевые слова :* фракции , ситовой анализ , сыпучие материалы.

**V. Shyberko**  
**MODELING AND COMPLEX FORMATION OF GRANULAR MATERIALS**

*We describe the structural and chemical heterogeneity and heterogeneity in the density of granular materials. The algorithm for calculating the fraction of polydisperse bulk material with homogeneous and heterogeneous structure. For a material with heterogeneous structure of the algorithm allows to determine the fractional composition of each of the local areas of the material. It can be used to compare the results of sieve analysis of polydisperse bulk material obtained under different conditions.*

*Keywords:* fractions, Sieve analysis, friable materials.

**Вступ.** Структура полідисперсних та полікомпонентних матеріалів визначається взаємним розташуванням окремих фракцій усередині сипкої маси. Залежно від змінювання структури полідисперсний та полікомпонентний сипкий матеріал може набувати однорідного або неоднорідного характеру. У першому випадку всі фракції матеріалу рівномірно розподілені в його об'ємі. Це нестійкий стан, оскільки як результат процесів сегрегації, який спостерігають під час роботи різних технологічних агрегатів, однорідність сипкої маси порушується, що призводить до виникнення локальних об'ємів з різним питомим вмістом окремих фракцій, а, отже, і різною структурою.

Вибір конкретної групи фракцій визначається очікуваним складом полідисперсного та полікомпонентного матеріалу та параметрами лабораторного обладнання, який використовують для аналізу. Звичайно кожне підприємство використовує певний набір сит для аналізу фракційного складу сипкого матеріалу [1-3].

Для порівняння результатів ситового аналізу, одержаних за різних умов, використовують параметр  $d_{\text{ср}} \Sigma$ , який не може однозначно характеризувати масу, що досліджують.

**Постановка задачі.** У зв'язку з вищевикладеним завдання теоретичного обґрунтування об'єктивного та достатньо простого способу зіставлення результатів ситового аналізу полідисперсного та полікомпонентного сипкого матеріалу, одержаних за різних умов, є актуальним та практично важливою проблемою.

**Основна частина досліджень.** Перспективною вважається розробка механізму перерахунку одержаних результатів і приведення їх до одних показників, тобто уніфікація одержаних результатів.

У полідисперсних матеріалах окремі мінераловмістні компоненти розподілені між фракціями нерівномірно, що обумовлено технологічними особливостями формування сипких сумішей. За структурних змінювань матеріалу, разом з автономним рухом крупних частинок, переміщуються цілі масиви, які, не дивлячись на часткову деформацію та руйнування, також сприяють створенню у сипкій масі локальної структурної неоднорідності.

Прийнято виділяти три основні види об'ємної неоднорідності, що впливають на хід технологічного процесу та якість кінцевого продукту [2-3]:

- структурна неоднорідність, яка полягає в різному вмісті фракцій у зівставних об'ємах матеріалу;
- хімічна неоднорідність, яка спричинена неоднаковим хімічним складом гранул різного розміру;
- неоднорідність матеріалу за щільністю, яка обумовлена закономірностями формування структури сипкого матеріалу.

Серед перерахованих видів неоднорідності первинною є структурна, поява якої спричинює виникнення хімічної неоднорідності усередині сипкої маси, а також відповідне локальне змінювання її щільності. У зв'язку з цим особливий інтерес має розгляд механізму та закономірностей виникнення локальних структурних утворень у масі полідисперсного та полікомпонентного сипкого матеріалу.

Види локальної структурної неоднорідності сипкої маси характеризуються схемами, поданими на рис. 1 і 3.

У зв'язку із взаємозв'язками, наведеними на схемах, розрахунок якісних параметрів сипких мас, які знаходяться у стаціонарному стані, необхідно починати з визначення структури матеріалу. Практичне вирішення такої задачі має значні складнощі, оскільки джерелом структурних змінювань є всі технологічні операції щодо транспортування та переробки сипких матеріалів. Доцільним представляється розгляд механізму структурних перетворень полідисперсних сипких мас, що спостерігають в виробництві. Технологічні агрегати, які використовують для переробки залізородної сировини, реалізують практично повний спектр механічних дій на полідисперсний матеріал на етапі його підготовки до грудкування.



Рис. 1. Види локальної об'ємної неоднорідності в полідисперсних сипких матеріалах

Заздалегідь необхідно теоретично досліджувати гранулометричні структурні характеристики різних за своїм класом сипкі середовища і розробити узагальнену методику розрахунку їх параметрів стосовно умов протікання сучасних технологічних процесів.

За допомогою оптико-програмного комплексу Micro-optik отримуємо розрахунок та формулюємо загальну характеристику полідисперсного та полікомпонентного матеріалу, що має однорідну структуру і може бути поданий наступними рівняннями:

$$\Phi_1 + \Phi_2 + \dots + \Phi_n = \Phi_\Sigma \quad (1)$$

$$d_1 \cdot \Phi_1 + d_2 \cdot \Phi_2 + \dots + d_n \cdot \Phi_n = d_{\text{ср}\Sigma} \cdot \Phi_\Sigma \quad (2)$$

де:

$\Phi_{1,2}$  – вміст  $l$  – ої фракції у матеріалі, %;

$\Phi_{\Sigma}$  – загальна кількість матеріалу, % ( $\Phi_{\Sigma} = 100\%$ );  
 $d_1$  – середній діаметр  $i$  – ої фракції, мм;  
 $d_{\text{сєр}}$  – середній діаметр частинок матеріалу, мм .



**Рис. 2. Оптико-програмний комплекс Micro-optik для визначення морфології та структури матеріалів: 1 – мікроскоп eScore; 2 – шліф досліджуваного матеріалу; 3 – інтерфейс програми Smart-eye; 4 – персональний комп'ютер**

Фракційний склад полідисперсного та полікомпонентного матеріалу визначають за результатами розсіювань, а середній діаметр частинок розраховують згідно рівняння (2).

За кількості фракцій більше двох розрахункових значень  $d_{\text{сєр}\Sigma}$  є неможливим через неоднозначність результатів, яких одержують, що призводить до необхідності використання додаткових обмежень і умов. При застосуванні мікроскопічної системи яка дозволяє отримувати прогнозування закономірностей формування структури та властивостей матеріалів з урахуванням розмірних елементів шихти, встановлення кореляційних зв'язків між складовими, будовою та властивостями полідисперсного матеріалу з неоднорідною структурою, використовують наступні системи рівнянь:

$$\Phi_{\Sigma 1} + \Phi_{\Sigma 2} + \dots + \Phi_{\Sigma k} = \Phi_{\Sigma} \quad (3)$$

$$d_{\text{сєр}\Sigma 1} \cdot \Phi_{\Sigma 1} + d_{\text{сєр}\Sigma 2} \cdot \Phi_{\Sigma 2} + \dots + d_{\text{сєр}\Sigma k} \cdot \Phi_{\Sigma k} = d_{\text{сєр}\Sigma} \cdot \Phi_{\Sigma} \quad (4)$$

$$\Phi_{11} + \Phi_{12} + \dots + \Phi_{1n} = \Phi_{\Sigma 1} \quad (5)$$

$$\Phi_{21} + \Phi_{22} + \dots + \Phi_{2n} = \Phi_{\Sigma 2} \quad (6)$$

де:

$\Phi_{\Sigma k}$  – загальна кількість матеріалу в  $k$  – й зоні сипкої маси, %;

$\Phi_{\Sigma}$  – вміст фракцій в  $k$  – й зоні, %;

$d_{\text{сєр}\Sigma k}$  – середній діаметр частинок матеріалу в  $k$  – й зоні, мм;

$k$  - кількість зон;

$n$  – кількість фракцій.

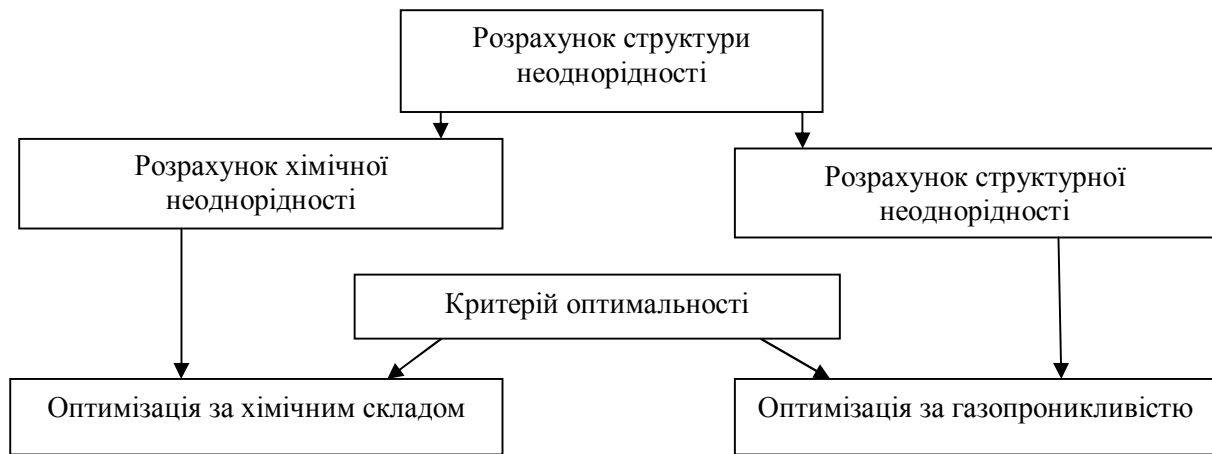


Рис. 3. Алгоритм розрахунку якісних параметрів стаціонарного шару полідисперсного матеріалу

Для характеристики локальних областей сипкого ситового матеріалу, що мають однорідну структуру, можуть бути використані залежності, одержані для однорідного полідисперсного матеріалу. Це дозволить визначити величину  $\Phi_{ij}$  у кожній зоні:

$$\Phi_{j2} = \frac{\Phi_{\Sigma j} \cdot (d_{\text{сєр}\Sigma j} - d_1)}{d_2 - d_1} \quad (7)$$

$$\Phi_{j1} = \Phi_{\Sigma j} \cdot \left(1 - \frac{d_{\text{сєр}\Sigma j} - d_2}{d_2 - d_1}\right) \quad (8)$$

Загальний вміст окремих фракцій у матеріалі складає:

$$\Phi_1 = \Phi_{11} \cdot \frac{\Phi_{\Sigma 1}}{\Phi_{\Sigma}} + \Phi_{21} \cdot \frac{\Phi_{\Sigma 2}}{\Phi_{\Sigma}} \quad (9)$$

$$\Phi_2 = \Phi_{12} \cdot \frac{\Phi_{\Sigma 1}}{\Phi_{\Sigma}} + \Phi_{22} \cdot \frac{\Phi_{\Sigma 2}}{\Phi_{\Sigma}} \quad (10)$$

$$\Phi_1 + \Phi_2 = \Phi_{\Sigma} \quad (11)$$

Середній діаметр частинок сипкого матеріалу в кожній із зон буде дорівнювати:

$$d_{\text{сєр}\Sigma j} \cdot \Phi_{\Sigma j} = d_1 \cdot \Phi_{j1} + d_2 \cdot \Phi_{j2} \quad (12)$$

$$d_{\text{сєр}\Sigma 1} = d_1 \cdot \Phi_{11} + d_2 \cdot \Phi_{12} \quad (13)$$

$$d_{\text{сєр}\Sigma 2} = d_1 \cdot \Phi_{21} + d_2 \cdot \Phi_{22} \quad (14)$$

За значень  $d_{\text{сєр}\Sigma j}$ , що відомі для всієї сипкої маси, дана залежність набуває вигляду:

$$d_{\text{сєр}\Sigma} = d_{\text{сєр}\Sigma 1} \cdot \frac{\Phi_{\Sigma 1}}{\Phi_{\Sigma}} + d_{\text{сєр}\Sigma 2} \cdot \frac{\Phi_{\Sigma 2}}{\Phi_{\Sigma}} \quad (15)$$

Підставляючи значення  $d_{\text{сєр}\Sigma}$  до рівняння (18), одержимо:

$$d_{\text{сєр}\Sigma} = (d_1 \cdot \Phi_{11} + d_2 \cdot \Phi_{12}) \cdot \frac{\Phi_{\Sigma 1}}{\Phi_{\Sigma}} + (d_1 \cdot \Phi_{21} + d_2 \cdot \Phi_{22}) \cdot \frac{\Phi_{\Sigma 2}}{\Phi_{\Sigma}} \quad (16)$$

Після перетворення рівняння (19) можна записати:

$$d_{\text{сєр}\Sigma} \cdot \Phi_{\Sigma} = d_1 \cdot (\Phi_{11} \cdot \Phi_{\Sigma 1} + \Phi_{21} \cdot \Phi_{\Sigma 2}) + d_2 \cdot (\Phi_{12} \cdot \Phi_{\Sigma 1} + \Phi_{22} \cdot \Phi_{\Sigma 2}) \quad (17)$$

Запропонована методика може бути використана під час ситового аналізу структури неоднорідного сипкого матеріалу із кількістю локальних зон, що перевищує дві. В процесі розрахунку здійснюють послідовне групування двох суміжних локальних зон і визначення їх сумарних гранулометричних характеристик. Як результат, відбувається поетапне скорочення

кількості локальних зон сипкої маси до етапу розрахунку  $\Phi_1, \Phi_2, d_{\text{сєр}\Sigma}$ .

Розрахунок продовжують до визначення двох останніх фракцій сипучого матеріалу та перевірки відповідності кількості кожної фракції у всіх локальних зонах заданому значенню.

**Висновок.** Під час переробки полідисперсних та полікомпонентних сипких матеріалів у технологічних агрегатах виникає структурна неоднорідність, яка, в свою чергу, призводить до появи хімічної неоднорідності та неоднорідності за щільністю у масі матеріалу. Можливість розрахунку кількісних показників структурної неоднорідності дозволить виконати оптимізацію маси матеріалу за хімічним складом і за щільністю, зокрема за газопроникливістю для виробництва.

Запропоновано алгоритм розрахунку фракційного складу полідисперсного та полікомпонентного сипкого матеріалу з однорідною й неоднорідною структурою, який дозволяє визначити фракційний склад кожної з локальних областей матеріалу та виконати зіставлення результатів аналізу полідисперсного та полікомпонентного сипкого матеріалу, одержаних за різних умов.

1. *Русаков П. Г.* Описание сегрегации агломерационной шихты и других сыпучих материалов [Текст] / П. Г. Русаков, Н.Ф. Русаков // Теория и технология подготовки металлургического сырья к доменной плавке. - Днепропетровск : ДМетИ, 1985. - С. 159-160.
2. *А.А. Готовцев, В. И. Тихонов, И. М. Сальников, С. А. Вакулenco* / Формирование слоя агломерационной шихты перед спеканием [Текст] // Сталь. - 1981. - № 12. - С. 11-15.
3. *Марюта А. Н.* Автоматический контроль гранулометрического состава сыпучих материалов [Текст] / А. Н. Марюта, Ю. Г. Качан. - Киев, Донецк : Вища школа, 1977. -156 с.
4. *Лібенсон Г. А.* «Металургія», 1976 – 56 с.

Стаття надійшла до редакції 27.04.2013.