

## Investigation of the dispersion processes of composite colloidal capillary-porous materials

Zh.O. Petrova (0000-0001-7385-8495), V.M. Vyshnievskiy (0000-0002-2424-8102),  
Yu.P. Novikova (0000-0002-6705-1000), A.I. Petrov (0000-0003-4851-3115)

*Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine, str. Bulakhovskogo, 2, Bldg. 2, Kyiv, 03164, Ukraine*  
Tel.: +380444249639, +380444249644  
E-mail: bergelzhanna@ukr.net

Article info: received 20.11.2019, revised 29.11.2019, accepted 13.12.2019

*Petrova, Zh.O., Vyshnievskiy, V.M., Novikova, Yu.P., Petrov, A.I. (2019) Investigation of the dispersion processes of composite colloidal capillary-porous materials 4(45), doi: 10.26909/csl.4.2019.3*

The technology of drying colloidal capillary-porous materials to a final humidity of 6 - 8 %, developed at the Institute of Technical Thermophysics of the NAS of Ukraine, allowed to obtain a brittle state, in which it is possible to grind this product to small particles.

The most suitable for industrial grinding of the dried composite colloidal capillary-porous materials is the impact method, because when wiping and crushing the material has accumulated, stuck to the working surface.

Powders are characterized by one pronounced maximum corresponding to the particle size of the powder of 0,16 mm. As the rotation speed of the shredder rotor changes, the particle size distribution of 0,16 mm increases by reducing the larger particles.

The amount of powder thus obtained is directly proportional to the speed of rotation of the rotor. The study of the dispersion and classification of functional powders showed that all powders have the largest particle size of 0,16 mm. The maximum yield of this fraction is 70 % and the lowest is 40 %.

The structural-mechanical characteristics of powders from composite colloidal capillary-porous materials were investigated for the first time. Characteristics of different fractions were determined by such parameters as bulk density, vibration density, angle of natural slope, speed of material flow through the funnel and others.

Studies to determine the structural and mechanical properties of functional powders have shown that they can be attributed to more bulk powders, as opposed to highly bound monopowders. Creating compositions improves their structural and mechanical properties.

Key words: composite colloidal capillary-porous materials, grinding.

## Дослідження процесів диспергування композиційних колоїдних капілярно-пористих матеріалів

Ж.О. Петрова, В.М. Вишневський, Ю.П. Новікова, А.І. Петров

*Інститут технічної теплофізики НАН України, Київ, Україна*

Розроблена в Інституті технічної теплофізики НАН України технологія сушіння колоїдних капілярно-пористих матеріалів до кінцевої вологості 6 - 8 %, дозволила отримати крихкий стан, при якому можна подрібнити цей продукт до дрібних частинок.

Найбільш придатним для промислового подрібнення висушених композиційних колоїдних капілярно-пористих матеріалів є ударний спосіб, тому що при протиранні та розчавлюванні матеріал комкувався і прилипав до робочої поверхні.

### Вступ

Враховуючи загальну тенденцію енергоспоживання, яка веде до збільшення кількості спожитої

енергії в усьому світі, вартість цієї енергії безперервно підвищується та зростає її дефіцит. Тому гостро стоять проблеми створення та широко масштабного впровадження сучасних енергоефективних

теплотехнологій, які забезпечують скорочення споживання енергоносіїв, в тому числі в процесах диспергування.

*Мета роботи* полягає у проведенні дослідження процесів диспергування композиційної сировини із співвідношенням компонентів 2:1 для визначення оптимальних режимів сушіння.

### Матеріали та методи дослідження

Дослідження процесів диспергування сухого композиційного рослинного матеріалу проведені на дезінтеграторі ДЕ ЗІ-1М.

При побудові диференціальних кривих розподілення маси на вісі абсцис відкладені значення діаметрів часток – від найменшого  $\delta_{min}$  до найбільшого  $\delta_{max}$ , а по вісі ординат – функція розподілення маси:

$$F(\delta) = \frac{\Delta m}{M_q \cdot \Delta \delta}, \quad (1)$$

де  $M_q$  – загальна маса всіх часток, г;  $\Delta m$  – маса частинок в інтервалі розмірів від  $\delta$  до  $\Delta \delta$ , г.

Порошки, що отримані внаслідок диспергування сухих композиційних колоїдних капілярно-пористих матеріалів складаються з суміші часток різного розміру. Ці суміші розділяються на різні фракції в залежності до вимог використання [1 - 4].

Аналіз дисперсності композиційного порошку наведено на рисунку 1.

Диференціальні криві розподілу маси сухого композиційного порошку в залежності від швидко-

сті обертання ротору дезінтегратора показали, що вони мають два максимальні значення (рис. 1).

Максимальні значення розподілу маси знаходяться при дисперсності порошку 0,16 та 0,4 мм. Найвище диференційне розподілення маси порошку суміші спостерігається при розмірах порошку 0,16 мм.

### Результати та їх обговорення

На інтегральних кривих розподілу маси порошку показаний вплив швидкості обертання ротору дезінтегратора та часу просіювання на фракційний склад порошку. Інтегральні криві розподілу маси порошку засвідчують, що з підвищенням швидкості обертання ротору дезінтегратора та часу просіювання підвищується вміст високодисперсної фракції. Наприклад, при швидкості обертання ротору дезінтегратора 30 м/с вміст високодисперсної фракції з часом просіювання 5 хв. становить 27,6 %, а при швидкості обертання 80 м/с з тим же часом – вихід порошку збільшується в 2,52 рази (рис. 2).

Збільшення тривалості просіювання порошку на ситах менше 0,25 мм показали, що вихід високодисперсної фракції збільшується. Але при швидкості обертання 80 м/с час просіювання порошку з необхідністю зменшення енергетичних витрат можна прийняти 3 хв., тому що вихід високодисперсного порошку від збільшення часу до 7 хв. не перевищує 1 % (рис. 3).

З зменшенням швидкості обертання ротору час просіювання бажано збільшувати до 5 хв. (70 м/с)

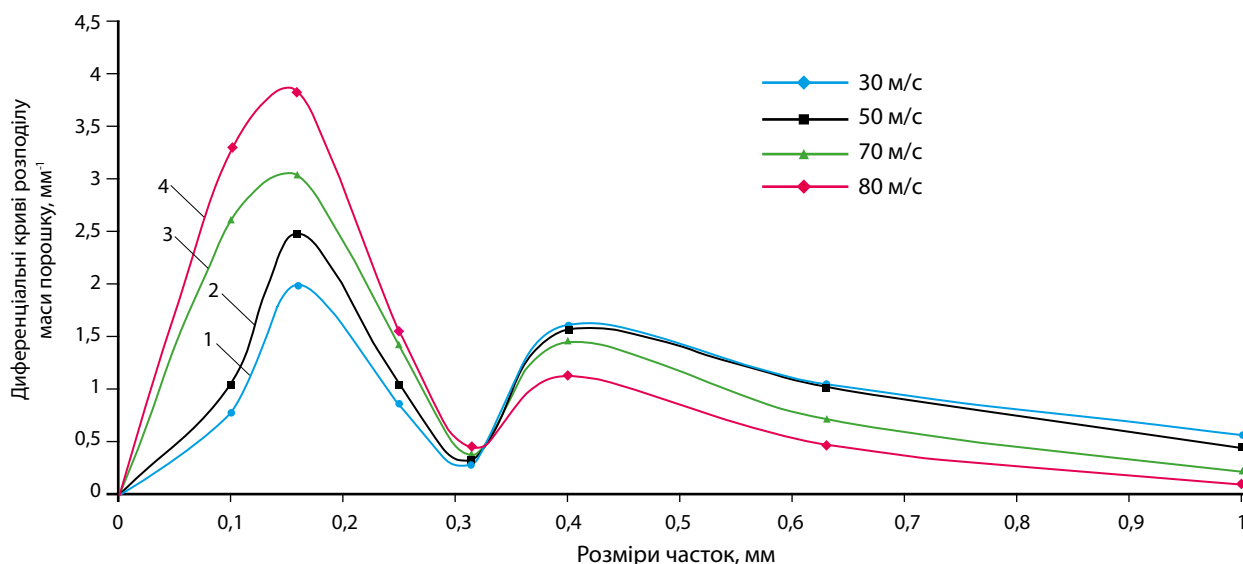


Рис. 1. Диференціальні криві розподілення маси порошку з композиційних колоїдних капілярно-пористих матеріалів суміші від розміру часток при швидкості обертання роторів дезінтегратора: 1 – 30 м/с, 2 – 50 м/с, 3 – 70 м/с, 4 – 80 м/с та часу просіювання 5 хв., співвідношення компонентів сировини 2:1

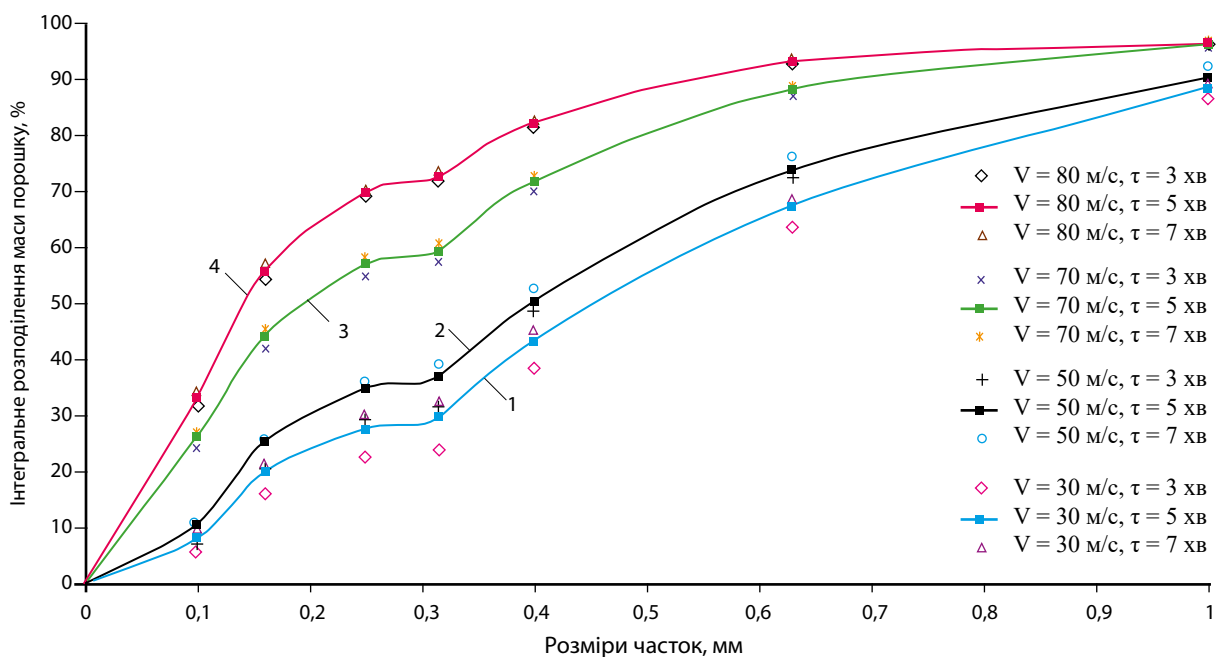


Рис. 2. Інтегральні криві розподілення маси порошку з композиційних колоїдних капілярно-пористих матеріалів суміші від розміру часток при швидкості обертання роторів дезінтегратора: 1 – 30 м/с, 2 – 50 м/с, 3 – 70 м/с, 4 – 80 м/с з різним часом просіювання

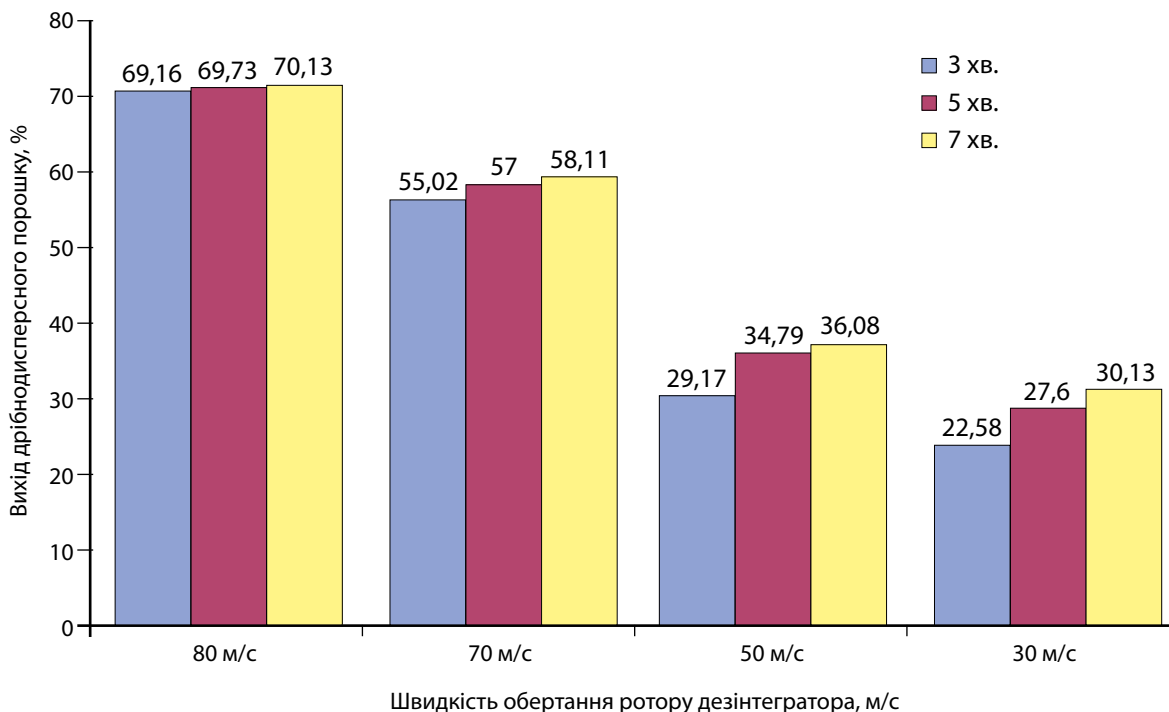


Рис. 3. Вихід високодисперсної фракції композиційних колоїдних капілярно-пористих матеріалів від швидкості обертання ротору дезінтегратора з різним часом просіювання

та до 7 хв. (50 та 30 м/с). Тому для порівняння інтегральних та диференціальних кривих розподілу маси порошоків нами був взятий середній час просіювання 5 хв., який більш орієнтований на отримання високодисперсного порошку з великою швидкістю обертання ротору – 70 та 80 м/с [5].

Поведінка порошоків в технологічних процесах визначається їх властивістю створювати опір зміні об'єму, форми, порушення цілісності.

Структурно-механічні властивості порошкоподібних матеріалів визначені за допомогою методів оцінки плинності та міцних характеристик порошоків.

Насипна щільність порошку залежить від умов засипки. З збільшенням висоти падіння порошку щільність збільшується, а при збільшенні швидкості насипання, зменшується. Насипну щільність порошку  $\rho_H$  визначали шляхом засипання порошку через воронку в спеціальній мірній металевій стакан із внутрішнім діаметром 45 мм за ГОСТ 11035.1 - 93.

Визначення вібраційної ущільненості порошку знаходилась від дії на ємність з порошком вібрації з амплітудою  $A = 5$  мм і частотою  $n = 180$  хв<sup>-1</sup> протягом 3 хв.

Значення насипної щільності порошоків не дозволяють порівнювати матеріали, які відрізняються за формою та щільністю часток. Таке порівняння можливе на основі співвідношення, наприклад при вільному засипанні  $\rho_H$  та після струшування  $\rho_V$ .

Ущільненість  $U$  порошоків визначається за формулою

$$U = \frac{\rho_V - \rho_H}{\rho_V} \cdot 100, \% \quad (2)$$

де  $\rho_V$  – об'ємна щільність порошку після ущільнення, кг/м<sup>3</sup>.

При оцінці текучості порошоків користуються коефіцієнтом ущільнення порошку. Збільшення сил аутогезії і тертя викликає зростання величини  $K_V$

$$K_V = \frac{\rho_V}{\rho_H} \quad (3)$$

Кутом природного укусу називають кут між горизонталлю і утворюючою купкою порошкоподібного матеріалу.

Кут природного укусу (динамічний кут укусу) використовують для визначення нахилу жолобів і стінок воронки, місткості транспортних засобів та сховищ. Кут природного укусу одночасно пов'язаний з аутогезією, внутрішнім тертям та щільністю часток порошку. Він дає безпосереднє уявлення про текучість порошку в стані вільного насипання. Діапазон зміни кута природного укусу коливається від 25 - 35° для гарно сипких порошоків і до 60 - 70° і більше для зв'язаних [6].

Для визначення куту природного укусу використовувалася пристрій, який складався з вертикальної стійки з закріпленням на ній рухомим конусом та піддоном з міліметровим папером, на який висипається порошок [7].

Кут природного укусу розраховується за наступною формулою

$$\alpha = \arctg \frac{H}{d} \quad (4)$$

де  $H$  – висота конусу, мм;  $d$  – діаметр основи конусу, мм.

Кут обрушення (статичний кут укусу) характеризує положення поверхні укусу, створений внаслідок сповзання частини порошкоподібного тіла. Кут обрушення завжди більше кута природного укусу. Кут обрушення за фізичним змістом більш наближений до кута внутрішнього тертя, так як утворення укусу відбувається в наслідок зсуву з руйнуванням структури порошку. Він виступає важливим параметром при проектуванні транспортних засобів та ємностей для зберігання порошку.

Коефіцієнт внутрішнього тертя  $f$  визначається за формулою

$$\tg \alpha = f \quad (5)$$

Висота вільно стоячої вертикальної стінки  $h_c$  – це комплексна характеристика. Вона відображає співвідношення між аутогезійною властивістю порошку, його внутрішнім тертям та щільністю, тобто характеризує умови руйнування та початок текучості порошку.

Міцності і реологічні властивості порошоків зв'язують з їх властивістю утримувати вільно стоячу вертикальну стінку. З збільшенням аутогезійної властивості і внутрішнього тертя порошкоподібний матеріал стає міцнішим, достатнього для того, щоб протистояти руйнуванню під дією власної ваги. Чим вище міцність і менше щільність порошоків, тим більше висота вільно стоячої вертикальної стінки.

Визначення тертя в індивідуальних контактах між частками дозволяє глибоко проаналізувати закономірності текучості порошоків і оцінити фракційні властивості окремих елементів, їх форму та шершавість поверхні. Прямі вимірювання сили тертя між окремими частками, тобто міцності контактів на зсув, зробити складно, тому застосовують непрямі вимірювання.

Початковий опір здвигу визначається за формулою

$$\tau_0 = \frac{h_c \cdot \rho_H}{4} \quad (6)$$

де  $h_c$  – висота вільно стоячої вертикальної стінки, м.

Таблиця 1.

Структурно-механічні характеристики композиційних колоїдних капілярно-пористих матеріалів, співвідношення рослинних компонентів 2:1

№	Назва характеристик	Розміри частинок порошку, мм							
		> 0,1	0,1 - 0,16	0,16 - 0,25	0,25 - 0,315	0,315 - 0,4	0,4 - 0,63	0,63 - 1	< 1
1.	Щільність, кг/м <sup>3</sup>	380	400	461	624	736	770	836	911
2.	Вібраційна щільність, кг/м <sup>3</sup>	464	480	540	718	839	862	928	1002
3.	Ущільненість, %	18,1	16,67	14,62	13,1	12,27	10,67	9,7	9,08
4.	Коефіцієнт ущільнення	1,22	1,2	1,17	1,15	1,14	1,12	1,11	1,1
5.	Кут природного укусу, град.	31,60	29,98	28,88	25,64	29,53	30,96	32,34	33,70
6.	Кут обрушення, град.	94	96	105	108	112	120	135	130
7.	Коефіцієнт внутр. тертя	1,12	1	0,84	0,76	0,68	0,6	0,54	0,48
8.	Висота вільно стоячої вертикальної стінки, мм	56	50	42	38	34	30	27	24
9.	Початковий опір зсуву, Н/м <sup>2</sup>	53,20	50	48,41	59,28	62,56	57,75	56,43	54,66
10.	Швидкість текучості матеріалу через лійку 12 мм, г/с	1,5	2,02	5,78	10,5	13,08	14,40	13,64	11,56
11.	Максимальний діаметр вільноутворюючого отвору, мм	97,77	85,35	69	61,47	53,11	45,43	39,82	34,39

Для характеристики текучості порошків (сипучість) також використовується поняття швидкості витікання крізь воронку. Швидкість витікання пов'язано з умовами руху маси порошку в воронці до випускного отвору. Вона відбувається без порушення суцільності порошку за схемою пластичного потоку.

## Висновки

Структурно-механічні характеристики порошків з композиційних колоїдних капілярно-пористих сумішей досліджувались вперше. Характеристики різних фракцій визначали за такими показниками як насипна щільність, вібраційна щільність, кут природного укусу, швидкість текучості матеріалу через лійку та інші.

Проведені дослідження з визначення структурно-механічних властивостей функціональних порошків показали, що їх можна віднести до більш сипучих порошків, на відміну від монопорошків, які є дуже зв'язані. Створення композицій покращує їх структурно-механічні властивості.

## References

1. *Снежкин, Ю.Ф., Боряк, Л.А.* Исследование процессов диспергирования сухих растительных материалов. Промышленная теплотехника. – 1982. – №4. – С. 43 - 45.

2. *Снежкин, Ю.Ф., Боряк, Л.А., Акинфиева, Л.Л., Демченко, В.В.* Влияние параметров диспергирования и сепарации на дисперсный состав пищевых порошков из растительного сырья. Пищевая промышленность. – 1985. – № 11. – С. 33 - 34.

3. *Бауман, В.А.* Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций. В.А. Бауман. – М.: Машиностроение. – 1981. – 332 с.

4. *Боровський, В.Р.* Изучение условий дробления и хранения порошков из яблок и яблочных выжимок. Промышленная теплотехника. – 1982. – № 5. – С. 43 - 45.

5. *Петрова, Ж.О., Пазюк, В.М., Перепеличний, О.В.* Дослідження процесу подрібнення та класифікації функціональної пребіотичної сировини. Збірник наукових статей «XVI Міжнародної науково-практичної конференції «Вдосконалення процесів і обладнання харчових і хімічних виробництв» Одеської національної академії харчових технологій. Мін. Освіти і науки України. – Одеса. – 2016.

6. *Зимон, А.Д.* Аутогезия сипучих материалов. Зимон А.Д., Андрианов Е.И. – М. Металургия. – 1977. – 287 с.

7. *Андрианов, Е.И.* Методы определения структурно-механических характеристик порошкообразных материалов. – М.: Химия. – 1982. – 256 с.