

Дослідження швидкості витання полідисперсних матеріалів для визначення здатності їх розділення у пневмокласификаторі

А. В. Литвиненко¹⁾, М. П. Юхименко²⁾

1), 2) Сумський державний університет, вул. Римського-Корсакова, 2, Суми, Україна, 40007

Article info:

Paper received:

28 April 2015

The final version of the paper received:

11 May 2015

Paper accepted online:

05 November 2015

Correspondent Author's Address:

¹⁾ ravenatko@ya.ru

²⁾ yunp@ukr.net

Процеси класифікації (або фракціонування) полягають у поділі сипких матеріалів на дві і більше фракції за розміром частинок щодо заданої граничної крупності, причому зміст інших класів у цих продуктах допускається в невеликій кількості. Високий ступінь поділу при здійсненні процесів класифікації дисперсних матеріалів впливає не лише на витратні норми сировини та її якість, а й визначає продуктивність та ефективність роботи інших машин і апаратів у технологічній схемі, що в кінцевому підсумку позначається на техніко-економічних показниках усього виробництва.

Робота присвячена експериментальним дослідженням з метою визначення швидкості витання частинок різних полідисперсних матеріалів, таких як гречка, карбамід, насіння моркви, просо, насіння редиски. Знання цих даних є важливими під час розроблення моделей та установок для проведення процесу пневмокласифікації. Викладено методику дослідження швидкості витання на створеному лабораторному стенді. Розроблений стенд відіграє важливу роль у дослідженні процесів сепарації і розділення, оскільки ефективність пневмокласификаторів залежить від знання значень швидкостей витання для матеріалів, з якими буде працювати розроблений апарат. За одержаними експериментальними даними виконано порівняння швидкостей витання різних матеріалів та встановлено залежність швидкості витання від маси наважки. Оскільки в більшості випадків значення швидкостей витання береться усереднене, то часто мають місце великі розбіжності між моделлю процесу і його реалізацією у створеному апараті.

Тому можна очікувати, що одержані в роботі дані значно підвищать точність моделей та ефективність нових апаратів.

Ключові слова: пневмокласифікація, частинка, розділення, швидкість витання, винесення, шар матеріалу.

1. ВСТУП

Пневматична класифікація ґрунтується на різниці швидкостей витання частинок різних фракцій у потоці повітря [1]. Цей метод позбавлений багатьох недоліків, властивих механічній та гідравлічній класифікації, і має певні переваги. Пневмокласифікація на відміну від механічної класифікації дозволяє розділяти вихідний матеріал на фракції за сукупністю фізико-механічних властивостей частинок: розмірами, формою, шорсткістю поверхні і густиною. Порівняно з гідравлічною класифікацією пневматичний метод розділення дозволяє отримувати продукти в сухому вигляді, що знижує енергоємність проведених технологічних процесів. Ці відмінні ознаки сприяють поширенню пневматичної класифікації в різних галузях промисловості [2].

2. ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД І ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Класифікація зернистих матеріалів широко використовується в хімічній, гірничорудній, металургійній, будівельній промисловостях та сільському господарстві, а також у пневмотранспорті.

Властивості цих матеріалів безпосередньо пов'язані з їх розмірами. Для такої класифікації насамперед потрібна інформація про швидкість витання частинок. Швидкість витання – це швидкість газового потоку, за якої гідравлічний тиск на поверхню одиничної твердої частинки дорівнює її вазі. Коли швидкість потоку перевищить швидкість витання частинок, починається спільний висхідний рух газового потоку і твердої частинки. Газовий потік, проходячи по пористих каналах шару, чинить тиск на окремі частинки, що сумарно виражається у втраті напорі. Збільшення швидкості потоку газу призводить до збільшення перепаду тиску в нерухомому шарі сипкого матеріалу. Шар матеріалу зберігає нерухомий стан до того часу, поки вага шару матеріалу, що припадає на одиницю його площі, не дорівнює перепаду тиску. При подальшому збільшенні швидкості шар переходить у псевдозріджений стан і перепад тиску залишається постійним. Зі збільшенням швидкості шар матеріалу розширяється, тобто зменшується концентрація твердої фази в одиниці об'єму шару матеріалу. Подальше збільшення швидкості призводить до винесення твердих частинок і

навіть до повного винесення шару матеріалу із апарата [3].

Величина швидкості витання також залежить від концентрації твердої фази. У міру збільшення концентрації твердої фази швидкість витання зменшується. Перехід нерухомого шару в псевдозріджений і в подальшому – у висхідний потік зовні виражається в зміні концентрації твердої фази.

Швидкість витання дорівнює за величиною швидкості вільного падіння і протилежна їй за напрямом у тому випадку, коли режим обтікання твердої частинки в потоці газу таким самим, що і при падінні твердої частинки в нерухомому середовищі. Сталій швидкості вільного падіння частинка набирає в рівноважному стані, коли сума сили опору середовища та статичної піднімальної сили дорівнює силі тяжіння. Теоретично ця рівноважна швидкість досягається на нескінченно довгому шляху.

Одним із способів визначення швидкості витання є аналітичний метод. Він базується на критеріальних рівняннях для найбільш поширених режимів: $Re = 0,152 Ar^{0,715}$ (для перехідного режиму $36 < Ar$ (критерій Архімеда) < 83000) і $Re = 1,74 Ar^{0,5}$ (для турбулентного режиму $Ar > 83000$) [4].

Швидкість витання частинок різних матеріалів можна визначити експериментальним методом, що дозволяє наглядно оцінити результати, та одержати більш точні значення, які відповідають конкретному матеріалу, що буде використовуватися. Тому метою роботи було створення експериментальної установки для дослідження швидкості витання полідисперсних матеріалів та реалізація одержаних даних для розрахунків пневматичних класифікаторів та сепараторів.

3. ДОСЛІДЖЕННЯ ШВИДКОСТІ ВИТАННЯ ПОЛІДИСПЕРСНИХ МАТЕРІАЛІВ

Дослідження проводилися на експериментальній установці (рис. 1), що складається із скляної трубки 3, сепаратора 2 і пристрою для створення всмоктувального потоку. В нижній частині трубки встановлена сітка з дрібними комітками 4, на яку і завантажують досліджувані частинки. Вище сітки встановлена циліндрична труба і на виході з неї – ґратка 9. Розміри комірок ґратки та сітки 4 в 1,5–2 рази менші від досліджуваних частинок. Витрата повітря регулюється вентилем 6, що забезпечує плавне регулювання. Для вимірювання витрати повітря на всмоктувальному патрубку труби 3 передбачений тарований колектор 5, до якого під'єднаний U-подібний дифманометр 7 або мікроманометр із похилою шкалою 8 для вимірювання невеликих витрат повітря.

Для кращої візуалізації досліджуваного процесу витання частинок апарат виконаний із органічного скла.

На нижню сітку 4 через люк 1 у верхній частині сепаратора 2 завантажуються досліджувані частинки. Всмоктувальний потік повітря створюється за допомогою компресора. Проходячи через скляну трубку 3, потік повітря чинить необхідний гідравлічний тиск на досліджувані частинки, які знаходяться в скляній трубці 3 на сітці 4. За допомогою U-

подібного дифманометра 7 або мікроманометра з похилою шкалою 8 фіксується необхідна швидкість газового потоку, за якої частинки притискуються до ґратки 9 (початкова швидкість). Далі регулювальними вентилем 6 змінюється витрата газового потоку і фіксується мінімальна швидкість газового потоку, за якої частинки відриваються від ґратки і починають опускатись вниз.

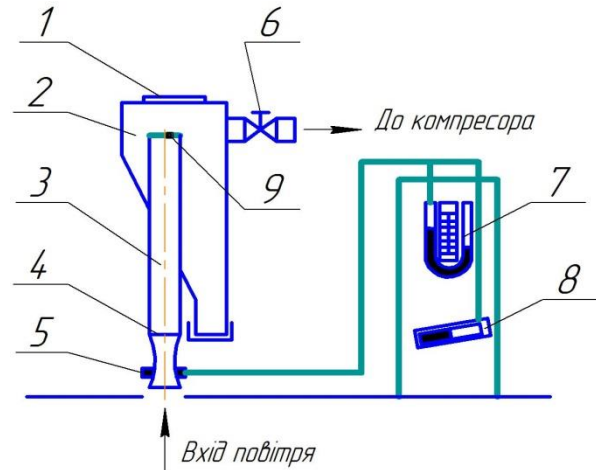


Рис. 1. Схема експериментальної установки для дослідження швидкості витання: 1 – люк; 2 – сепаратор; 3 – скляна трубка; 4 – сітка; 5 – тарований колектор; 6 – регуляційний вентиль; 7 – U-подібний дифманометр; 8 – мікроманометр з похилою шкалою; 9 – ґратка

Ці вимірювання повторюються декілька разів і закінчуються при досягненні мінімальної різниці в межах 10–15 % між максимальним і мінімальним показанням U-подібного дифманометра 7, або мікроманометра з похилою шкалою 8. Вимірювання виконуються з різними за формою частинками як в ізольованих умовах (одиначна частинка), так і в стиснених умовах (декілька частинок).

Створений стенд поданий на рис. 2.

Експеримент проводився з п'ятьма матеріалами, які різняться своїми властивостями і розміром частинок. До матеріалів додавалися різні домішки, створюючи їх суміш з основним матеріалом та визначалися швидкості витання. Як модельний матеріал використовували: гречку, карбамід, насіння моркви, просо, насіння редиски.

По знятих показниках дифманометра ΔP знаходили витрату повітря V_{II} :

$$V_{II} = \alpha \cdot S_0 \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}}, \quad (1)$$

де α – коефіцієнт витрати колектора (за відношення меншого діаметра колектора до більшого $d_0 / D_0 = 0,05 - 0,6$, беремо $\alpha = 0,5 - 0,8$); S_0 – площа перерізу меншого діаметра колектора, м²; ρ – густина матеріалу, кг/м³.



Рис. 2. Експериментальна установка для дослідження швидкості витання

Швидкість повітря (відповідно швидкість витання частинки) визначали з рівняння витрати:

$$W_{\Pi} = \frac{V_{\Pi}}{0,785} D_{\Gamma P}^2, \quad (2)$$

де $D_{\Gamma P}$ – внутрішній діаметр труби, м.

За кожним із наведених на графіках матеріалів будувалась таблиця результатів. У кожному дослідженні було по 10 вимірювань, причому в кожному наступному збільшувалася маса завантажених частинок, що дозволяє проаналізувати зміну параметрів процесу. При збільшенні маси наважки збільшується тиск в установці і витрата повітря, для підняття шару наважки. Використовуючи ці дані, будується графік залежності кількості винесення матеріалу від розрахункової швидкості витання частинок. Також одержані залежності дають можливість проаналізувати різницю в значеннях швидкостей витання частинок домішок і основного матеріалу, що дозволяє зробити висновок про можливість розділення матеріалу від різноманітних домішок.

ВИСНОВКИ

Об'єктом лабораторних досліджень було створення установки для дослідження та визначення швидкостей витання частинок полідисперсних твердих сипких матеріалів. У ході експерименту одержані дані, які подані у вигляді графіків, за результатами аналізу яких можна дійти висновку, що кількість винесеного матеріалу безпосередньо залежить від швидкості газового потоку в апараті, тобто від швидкості витання досліджуваних частинок. Експеримент проводився як із окремими частинками, так і в обмежених умовах із додаванням до них різних домішок. Дані досліджень показують, що мінімальна різниця між швидкостями витання частинок основного матеріалу та домішок спостерігається лише для насіння моркви. Для решти матеріалів швидкості витання їх частинок по стосовно частинок домішок значно відрізняються. Отже, для досліджуваних матеріалів, крім насіння моркви, існує можливість їх пневмокласифікації.

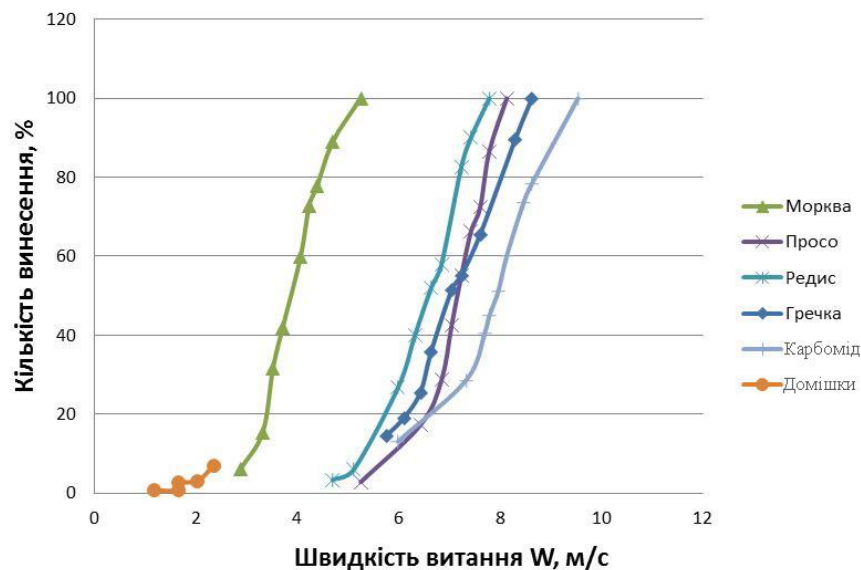


Рис. 3. Загальний графік кількості винесення матеріалу від швидкості витання частинок



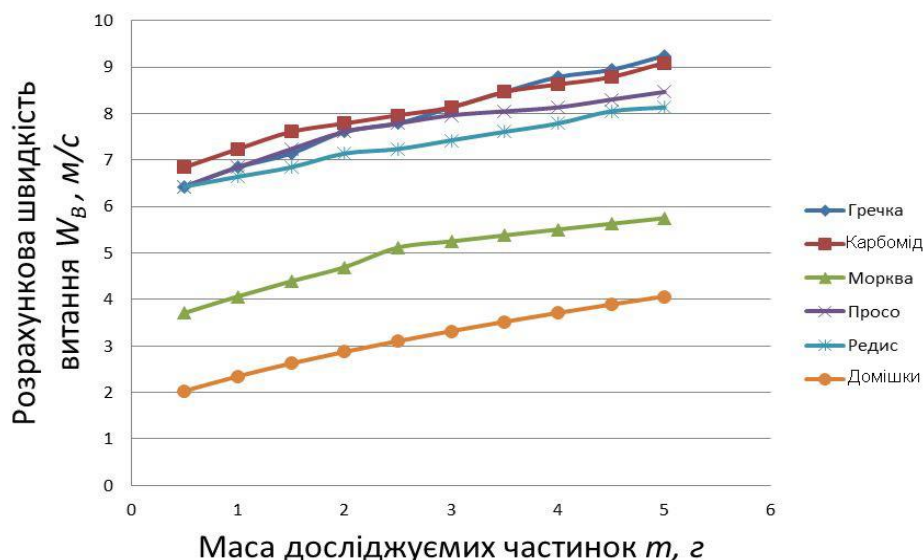


Рис. 4. Загальний графік залежності швидкості витання від кількості матеріалу

Research of the polydispersed products terminal velocities to determine their separation ability in the pneumatic classifier

A. V. Lytvynenko¹⁾, M. P. Yukhymenko²⁾

^{1), 2)} Sumy State University, 2, Rymsky Korsakov Str., 40007, Sumy, Ukraine

Classification (fractionation) is the process of granular products separation into two or more fractions according to the particles sizes, moreover given size limit and content of other products in the main product is very insignificant.

For example, fractionation of granular products is intended for producing fertilizers, for removal of fine particles (dust removal) from filling of burning furnaces chambers; it is used for electrodes manufacturing, for cleaning and preparing of the seeds for planting, which is the most important technological process in agriculture. High separation degree by classification of the dispersed products affects not only the raw materials consumption and its quality but it also determines the efficiency of other machines and apparatus operation in the technological scheme, which ultimately affects the technical and economic indicators of the whole production.

This work is devoted to the experimental research in order to determine the terminal velocities of different polydispersed products, such as buckwheat, carbamide, carrot seeds, millet, radish seeds. Knowledge of these values is important for the development of models and devices for pneumatic classification. The research methodology of the particles terminal velocities using developed using a laboratory stand is presented. Designed stand plays an important role in the study of the separation processes and classification, as pneumatic classification effectiveness depends on the knowledge of particles terminal velocities of the products for which this device is intended to.

Based on the obtained experimental results one has made graphics of comparing the terminal velocities of different substances and the dependence of terminal velocity from the mass of the mounting. Since in the most cases one takes into consideration the average terminal velocity, it causes big difference between modeling the process and its implementation in the designed stand. It can be expected that the obtained data will greatly increase the operating efficiency of the pneumatic classifier.

Key words: pneumatic classification, particle, separation, terminal velocity, entrainment, product layer.

Исследование скорости витания полидисперсных материалов для определения возможности их разделения в пневмоклассификаторы

^{1), 2)} Сумский государственный университет, ул. Римского-Корсакова, 2, Сумы, Украина, 40007

А. В. Литвиненко¹⁾, Н. П. Юхименко²⁾

Процессы классификации (или фракционирования) заключаются в разделении сыпучих материалов на две и более фракции по размеру частиц по заданной предельной крупности, причем содержание других классов в этих продуктах допускается в небольшом количестве. Высокая степень разделения при осуществлении процессов классификации дисперсных материалов влияет не только на расходные нормы сырья и его качество, но и определяет производительность и эффективность работы машин и аппаратов в технологической схеме, в конечном итоге сказывается на технико-экономических показателях всего производства.

Работа посвящена экспериментальным исследованиям с целью определения скорости витания частиц различных полидисперсных материалов, таких как гречка, карбамид, семена моркови, просо, семена редиса. Полученные данные являются исходными данными для разработок моделей и установок осуществляющих процесс пневмокласификации. Изложена методика исследования скорости витания в созданном лабораторном стенде. Разработанный стенд играет важную роль в исследовании процессов сепарации и разделения, так как эффективность пневмокласификаторов зависит от знания скоростей витания материалов, с которыми будет работать аппарат. По полученным экспериментальным данным выполнено сравнение скоростей витания различных материалов и установлена зависимость скорости витания от массы навески. Поскольку в большинстве случаев значения скоростей витания берется усредненное, то часто имеют место большие различия между моделью процесса и его реализацией в созданном аппарате.

Поэтому, полученные в работе данные значительно повысят точность моделей и эффективность новых аппаратов.

Ключевые слова: пневмокласификация, частица, разделение, скорость витания, слой материала.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Мизонов В. Е. Аэродинамическая классификация порошков / В. Е. Мизонов, С. Г. Ушаков. – М.: Химия, 1989. – 160 с.
2. Барский М. Д. Гравитационная классификация зернистых материалов / М. Д. Барский, В. И. Ревнивцев, Ю. В. Соколкин. – М.: Недра, 1974. – 232 с.
3. Апарати завислого шару. Теоретичні основи і розрахунок / [М. П. Юхименко, С. В. Вакал, М. П. Кононенко, А. П. Філонов]. – Суми: Собор, 2003. – 304 с.
4. Донат Е.В. Аппараты со взвешенным слоем для интенсификации технологических процессов / Е. В. Донат, А. И. Голобурдин. – М.: Химия, 1993. – 144 с.

REFERENCES

1. Mizonov V. E., Ushakov S. G. (1989). Aerodinamicheskaya klassifikatsiya poroshkov. Moskva. Himiya. 160 p. [in Russian].
2. Barskiy M. D., Revnivitsev V. I., Sokolkin Yu. V. (1974). Gravitatsionnaya klassifikatsiya zernistyyh materialov. Moskva. Nedra. 232 p. [in Russian].
3. Yukhymenko M. P., Vakal S. V., Kononenko M. P., Filonov A. P. (2003). Aparaty zavisloho sharu. Teoretychni osnovy i rozrahunok. Sumy. Sobor. 304 p. [in Ukrainian].
4. Donat E. V., Goloburdin A. I. (1993). Apparaty so vzveshennyim sloem dlya intensifikatsii tehnologicheskikh protsessov. Moskva. Himiya. 144 p. [in Russian].