

ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРАТНОГО КОЕФІЦІЄНТА ОТВОРУ, ЩО ДОЗУЄ ПОРОШКОВИЙ МАТЕРІАЛ У ГОРИЗОНТАЛЬНОМУ НАПРЯМКУ

Стегнієнко А.П., канд. техн. наук, доц.,

Седуш В.С., асистент

Донецький національний технічний університет

Установлено значення витратного коефіцієнта отвору, що дозує порошок у горизонтальному напрямку.

The significance of account factor of an orifice of dosing a powder material in a horizontal direction is obtained.

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними задачами. У металургії для проведення позапічної обробки широко використовують аераційні живильники для інжектування (уведення) порошкових реагентів у розплави чавуна та сталі. Дозована видача порошоків такими живильниками здійснюється за допомогою дозуючих отворів, через які відбувається витікання газопорошкової суміші з бункера живильника в пневмотранспортний трубопровід (рисунк 1).

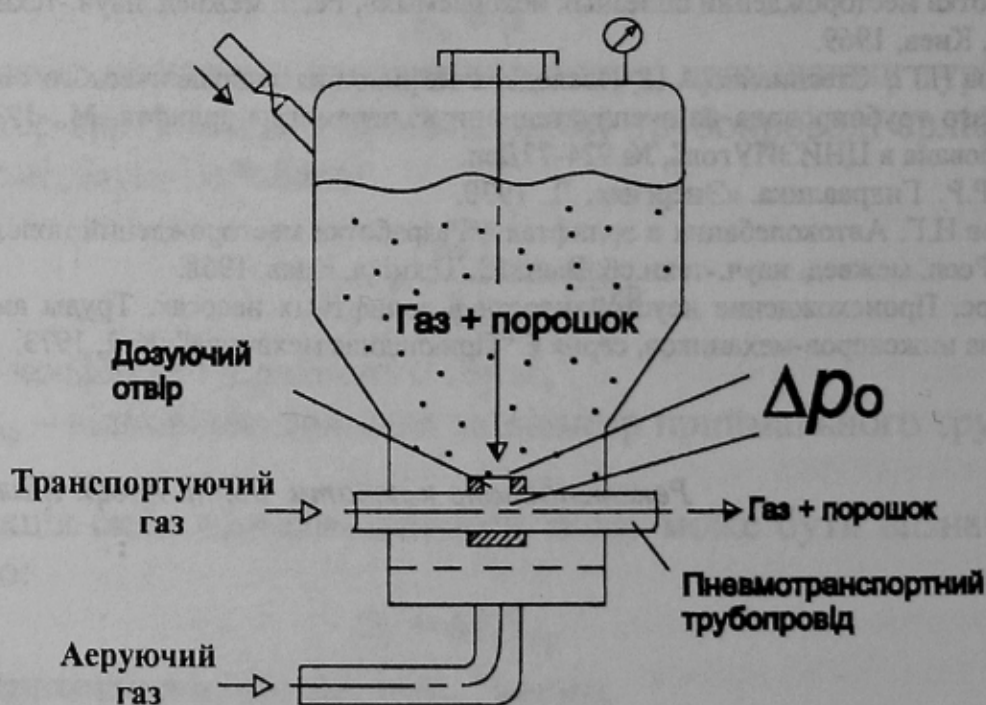


Рисунок 1 - Схема витікання матеріалу через дозуючий отвір аераційного живильника.

Для визначення витрати порошку через дозуючий отвір аераційного живильника найчастіше використовують залежність виду

$$m_T = \mu_o F_o \sqrt{2 \Delta p_o \rho_T (1 - \varepsilon)}, \quad (1)$$

де μ_o – витратний коефіцієнт отвору; F_o – площа отвору; $\Delta p_o = (p_1 - p_2)$ – перепад тиску газу на отворі (p_1 і p_2 – відповідно статичний тиск газу до і після отвору); ρ_T – істинна щільність порошку; $\varepsilon = F_r / F_o$ – істинний газовміст суміші в отворі; F_r – площа отвору, зайнята газом.

З залежності (1) видно, що для розрахунку необхідної витрати матеріалу живильником (його продуктивності), необхідно, у тому числі, знати значення витратного коефіцієнта отвору, що дозує газопорошкову суміш.

Аналіз досліджень і публікацій. Визначенню значення коефіцієнта μ_o присвячено багато робіт. Наприклад, авторами робіт [1-3] експериментально встановлено, що значення коефіцієнта μ_o залежить від відношення діаметра дозуючого отвору d_o до еквівалентного діаметра частки порошку d_e і відносного перепаду тиску газу на отворі $\Delta p_o / p_2$.

При відношенні $d_o / d_e \geq 40$ і відносному перепаді тиску газу на отворі $\Delta p_o / p_2 \leq 0,1$ середнє значення μ_o для часток піску, вапна і коксу складає 0,5, а при $\Delta p_o / p_2 > 0,3$ значення μ_o зростає до 0,65.

Для гранульованого магнію авторами [4, стор.236] запропонована наступна залежність для визначення μ_o

$$\mu_o = 0,44 - 1,5 \frac{d_e}{d_o}. \quad (2)$$

При еквівалентному діаметрі часток магнію $d_e = 1 \div 3$ мм і діаметрі дозуючого отвору $d_o \geq 25$ мм значення μ_o близько до 0,4. З залежності (2) випливає, що при $d_e / d_o = 0,29$ значення $\mu_o \approx 0$, що повинно

відповідати припиненню дозування матеріалу через отвір. Це підтверджується і дослідженнями процесу витікання газопорошкових сумішей із круглих отворів, проведеними авторами [2], що свідчать, що при значенні $d_o < 5d_e$ витікання газопорошкових сумішей з отворів припиняється.

У випадку, коли відношення $5 \leq d_o/d_e \leq 40$, автори роботи [1] пропонують значення μ_o приймати як для випадку $d_o/d_e \geq 40$, а площу дозуючого отвору F_o , наприклад, круглого, визначати з урахуванням еквівалентного діаметра часток порошку

$$F_o = \frac{\pi(d_o - 1,5d_e)^2}{4}, \quad (3)$$

як це робиться при гравітаційному витіканні матеріалів з бункерів.

Постановка задачі. Отже, експериментально визначене значення коефіцієнта μ_o , що може змінюватися в інтервалі 0,40...0,65, не дозволяє виконувати точний розрахунок, зокрема, продуктивності живильника (витрати порошку) по рівнянню (1), що вимагає пошуку теоретичної залежності для його визначення.

Викладення матеріалу та результати. Для вирішення поставленої задачі розглянемо процес витікання газопорошкової суміші через отвір у вертикальній стінці герметичного бункера (рисунок 2). Такий розрахунковий випадок відповідає, наприклад, конструкціям аераційних живильників для позапічної обробки металургійних розплавів, що розробляються у ДонНТУ [5,6].

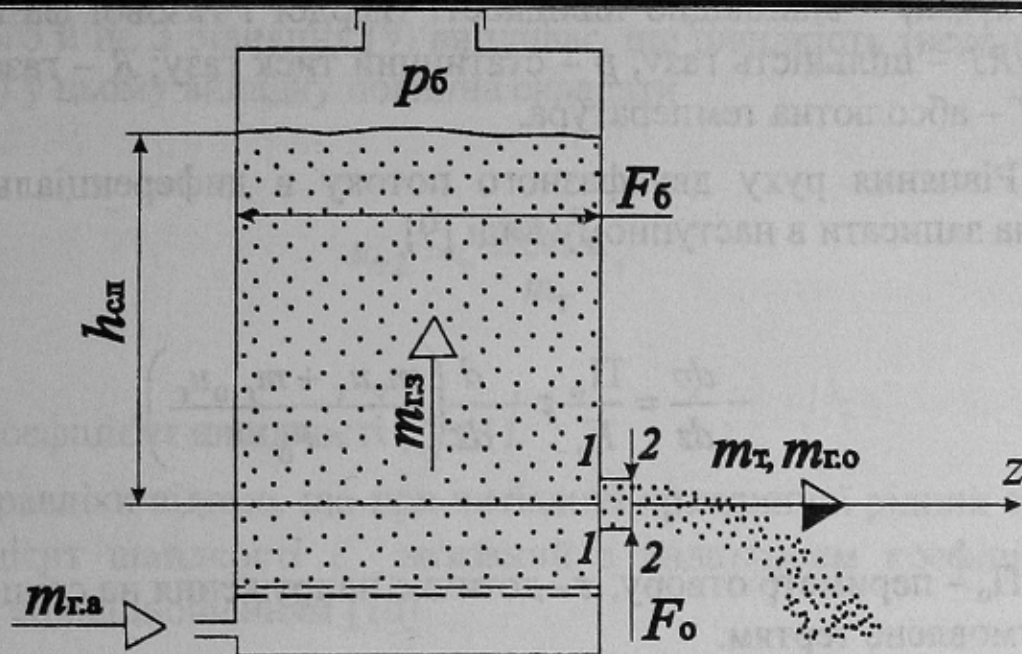


Рисунок 2 - Схема витікання.

Теоретичну оцінку значення μ_0 зробимо, використовуючи рівняння нерозривності і руху двухфазного потоку в отворі, і прийнявши допущення, що рух його стаціонарний і одномірний в горизонтальному напрямку (уздовж координати z (див. рисунок 2)), а швидкості фаз у потоці різні.

Рівняння нерозривності потоку, якщо підведення маси ззовні в потік не відбувається, а фазові перетворення відсутні, має такий вигляд

$$m_{cm} = m_{г.о} + m_{г} = const, \quad (4)$$

де $m_{г.о}$ – масова витрата газу в отворі.

Масові витрати фаз потоку відповідно дорівнюють [7-9]:

$$m_{г} = \rho_{г} F_{о} (1-\varepsilon) u_{г}, \quad (5)$$

$$m_{г.о} = \rho_{г} F_{о} \varepsilon u_{г}, \quad (6)$$

де u_T, u_G – відповідно швидкості твердої і газової фази в отворі; $\rho_G = p/RT$ – щільність газу; p – статичний тиск газу; R – газова постійна; T – абсолютна температура.

Рівняння руху двухфазного потоку в диференціальній формі можна записати в наступному виді [9]

$$-\frac{dp}{dz} = \frac{\Pi_0}{F_0} \tau + \frac{d}{dz} \left(\frac{m_T u_T + m_{G.0} u_G}{F_0} \right), \quad (7)$$

де Π_0 – периметр отвору, τ – дотичне напруження на стінці отвору, обумовлене тертям.

Перший доданок у правій частині рівняння (7) визначає втрати тиску газу на тертя, а друге – втрати на прискорення фаз потоку. Зневажаючи, за аналогією з витіканням краплинних рідин, втратами на тертя газопорошкової суміші об стінки отвору, проінтегруємо рівняння (7) у напрямку руху потоку в отворі від його входу (перетин 1-1) і до виходу (перетин 2-2) (див. рисунок 2), у результаті чого одержимо

$$-(p_2 - p_1)F_0 = m_T(u_{T2} - u_{T1}) + m_{G.0}(u_{G2} - u_{G1}), \quad (8)$$

де u_{T1} і u_{T2} – швидкість порошку відповідно на вході в отвір і на виході з нього; u_{G1} і u_{G2} – швидкість газу відповідно на вході в отвір і на виході з нього.

При витіканні газопорошкового потоку через отвір у вертикальній стінці бункера, швидкості газу і порошку на вході в отвір практично дорівнюють нулеві, а втрати на прискорення газу в отворі зневажаюно малі в порівнянні з втратами на прискорення твердої фази [2], тому рівняння (8) можна записати в наступному виді

$$\Delta p_0 F_0 = m_T u_{T2}. \quad (9)$$

Однак отримане рівняння (9) не враховує втрати швидкості фаз потоку в отворі, що можуть бути обумовлені взаємним тертям часток порошку і газу, опором рухові суміші на вході в дозуючий отвір і ви-

ході з нього й ін. З рівняння (9) випливає, що швидкість твердої фази (порошку) у цьому випадку повинна складати

$$u_{T2} = \zeta \frac{\Delta p_0 F_0}{m_T}, \quad (10)$$

де ζ – коефіцієнт швидкості ($\zeta \leq 1$).

З гідравліки відомо, що при витіканні краплинної рідини з отвору коефіцієнт швидкості ζ зв'язаний з видатковим коефіцієнтом отвору μ_0 співвідношенням [10]

$$\mu_0 = \theta \zeta, \quad (11)$$

де θ – коефіцієнт стиску струменя на виході з отвору.

Дослідження процесу витікання газопорошкових сумішей з отворів, які виконані авторами робіт [1,2], свідчать, що стиску струменя на виході з отвору не спостерігається ($\theta=1$), тому відповідно до (11) випливає, що коефіцієнт μ_0 по суті є коефіцієнтом швидкості ζ , що враховує зміну швидкості фаз потоку в отворі, тобто

$$\mu_0 = \zeta. \quad (12)$$

У цьому випадку, підставляючи отримане значення u_{T2} по рівнянню (10) у (5), і вирішуючи останнє разом з (1) і (12), установимо наступну рівність

$$\mu_0 = 0,5. \quad (13)$$

Отримане аналітичним шляхом рівність (13) добре узгоджується з представленими вище результатами експериментальних досліджень. Крім цього, на основі результатів досліджень, проведених авторами роботи [2] в умовах найбільш близьких до розглянутих, на рисунку 3

приведене зіставлення експериментальних значень швидкості порошку на виході з отвору u_{T2} і розрахованих по залежності (10) при значенні $\zeta = \mu_0 = 0,5$. При розрахунку значення u_{T2} по залежності (10) враховувалося, що в умовах проведення досліджень [2] мало місце нерівність $5 \leq d_0 / d_3 \leq 40$, тому площа отвору F_0 була скоректована з урахуванням рівняння (3).

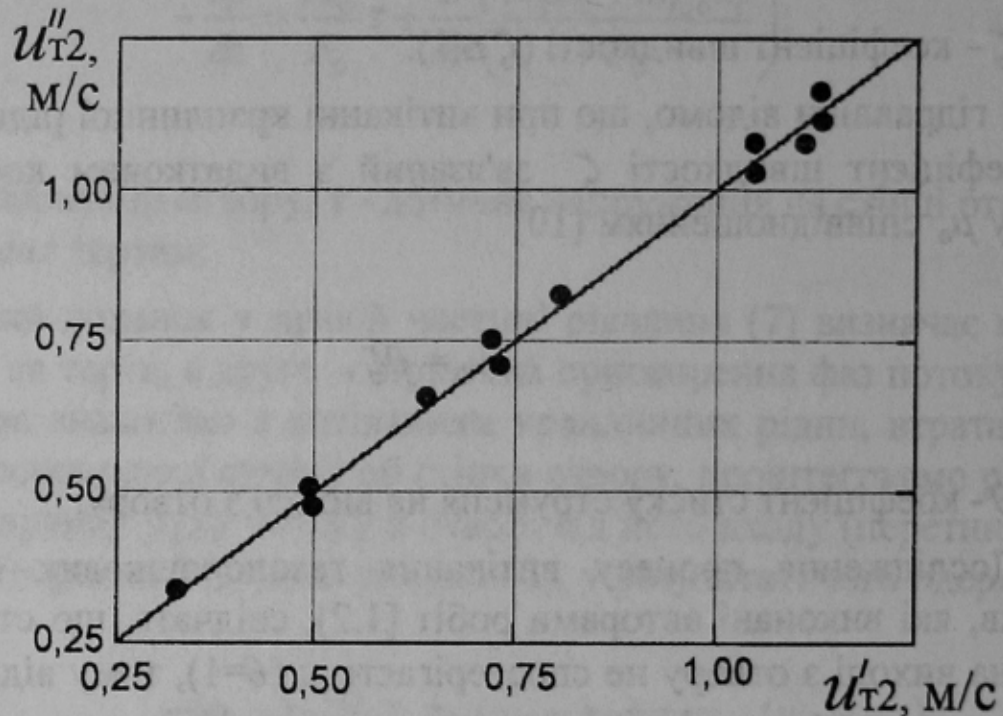


Рисунок 3 – Зіставлення розрахункових значень швидкості (u''_{T2}) по залежності (10) з експериментальними даними (u'_{T2}) роботи [2].

Добре узгодження розрахункових і експериментальних значень, представлених на рисунку 3 (максимальне відхилення не перевищує 10%), дозволяє зробити висновок про коректність рівності (13), а також прийнятих при його виводі допущень.

Висновки та напрямок подальших досліджень:

1. Аналітичним шляхом отримана рівність (13), що встановлює значення витратного коефіцієнта отвору, що дозує порошковий матеріал у горизонтальному напрямку.

2. Отримане аналітичним шляхом значення витратного коефіцієнта $\mu_0=0,5$ досить добре узгоджується з результатами експериментальних досліджень, виконаних у цьому напрямку іншими авторами.

3. Подальші дослідження повинні бути спрямовані на експериментальне підтвердження отриманого значення витратного коефіцієнта отвору для порошкових матеріалів, що розрізняються за щільністю та гранулометричним складом.

Список джерел:

11. Псевдооживление / Под.ред. И.Дэвидсона и Д.Харрисона: Пер.с англ. -М.: Химия, 1974. - С.567-590.
12. Истечение азрируемого и псевдооживленного зернистого материала через отверстия в вертикальной стенке / Н.И. Гельперин, В.Г. Айнштейн, Г.И. Лапшенков, А.И. Козловский // Химическая промышленность. - 1968.- №6. - С.415-419.
13. Истечение азрируемого и псевдооживленного зернистого материала из отверстий в вертикальной стенке при переменном напоре / Н.И. Гельперин, В.Г. Айнштейн, Г.И. Лапшенков и др. // Химическая промышленность.-1970. - №4. - С.299-305.
14. Ефименко С.П., Мачикин В.И., Лифенко Н.Т. Внепечное рафинирование металлов в газ-лифтах. М.: Metallurgy, 1986. – 264 с.
15. Лифенко Н.Т., Седуш В.С., Сидоренко Г.Н. Питатели для систем пневматической подачи порошковых и зернистых материалов в металлургические расплавы // Металлургическая и горнорудная промышленность. - 2002. - №10. - С.151-153.
16. Пат. 65357 А України, МКИ С 21 В 7/16, В 65 G 53/50. Живильник порошковых і пило-подібних матеріалів установки інжекційної обробки металургійних розплавів / Лифенко М.Т., Костецкий Ю.В., Троянський О.А., Седуш В.С., Карпов В.П., Омельченко В.І. - № 2003076702; Заявл. 16.07.2003; Опубл. 15.03.2004, Бюл. № 3.
17. Уоллис Г. Одномерные двухфазные течения : Пер. с англ.-М.: Мир, 1972. - 440 с.
18. Дейч М.Е., Филиппов Г.А. Газодинамика двухфазных сред. – 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоиздат, 1981. - 472 с.
19. Хьюитт Дж., Холл-Тэйлор Н. Кольцевые дфухфазные течения : Пер. с англ. - М.: Энергия, 1974. - 408 с.
20. Чугаев Р. Р. Гидравлика. - 4-е изд., перераб. и доп. - Л.: Энергоиздат, 1982. - 672 с.

Рекомендовано к печати д.т.н. проф. Малеевым В.Б.