

УДК 669.621.694

РОЗРАХУНОК ПЛОЩІ ДОЗУЮЧОГО ОТВОРУ РОЗТАШОВАНОГО У ВЕРТИКАЛЬНІЙ СТІНЦІ ГЕРМЕТИЧНОГО БУНКЕРА

Ошовська Є.В., канд.техн.наук, доц.,
Седуш В.С., Проскураков С.В., асистенти

Донецький національний технічний університет

Отримано аналітичну залежність для розрахунку площі отвору розташованого у вертикальній стінці герметичного бункера і дозуючого порошкові матеріали.

The analytical dependence for account of square of an orifice of the tight bunker, located in a vertical wall, and dosing powder materials is obtained.

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними задачами.

В даний час для проведення позапічної обробки металургійних розплавів чавуна та сталі широко використовують інжекційні системи, що, як правило, мають у своєму складі пневмотранспортні установки для введення порошкових реагентів у розплав газом. Переваги пневмотранспортних установок у складі інжекційних систем найбільш повно виявляються при оснащенні їх живильниками порошкових реагентів, що мають підвищену точність дозування порошків.

Конструкції живильників, що застосовуються в пневмотранспортних установках, можна розділити на два види: пневмомеханічні та пневматичні. Найбільш надійними в експлуатації є пневматичні живильники аераційного типу, тому що вони не містять рухомих робочих органів, що знаходяться в потоці матеріалу.

В аераційних живильниках необхідна точність дозування матеріалу і рівномірність його видачі в пневмотранспортний трубопровід забезпечується дозуючим отвором (рисунок 1). Тому визначення площі дозуючого отвору аераційного живильника, що являє собою герметичний бункер, є актуальною задачею.

Аналіз досліджень і публікацій. Найбільш часто, площа дозуючого отвору встановлюється за результатами експериментальних досліджень [1-2], що пов'язано зі складним характером процесу витікання газопорошкових сумішей через отвори.

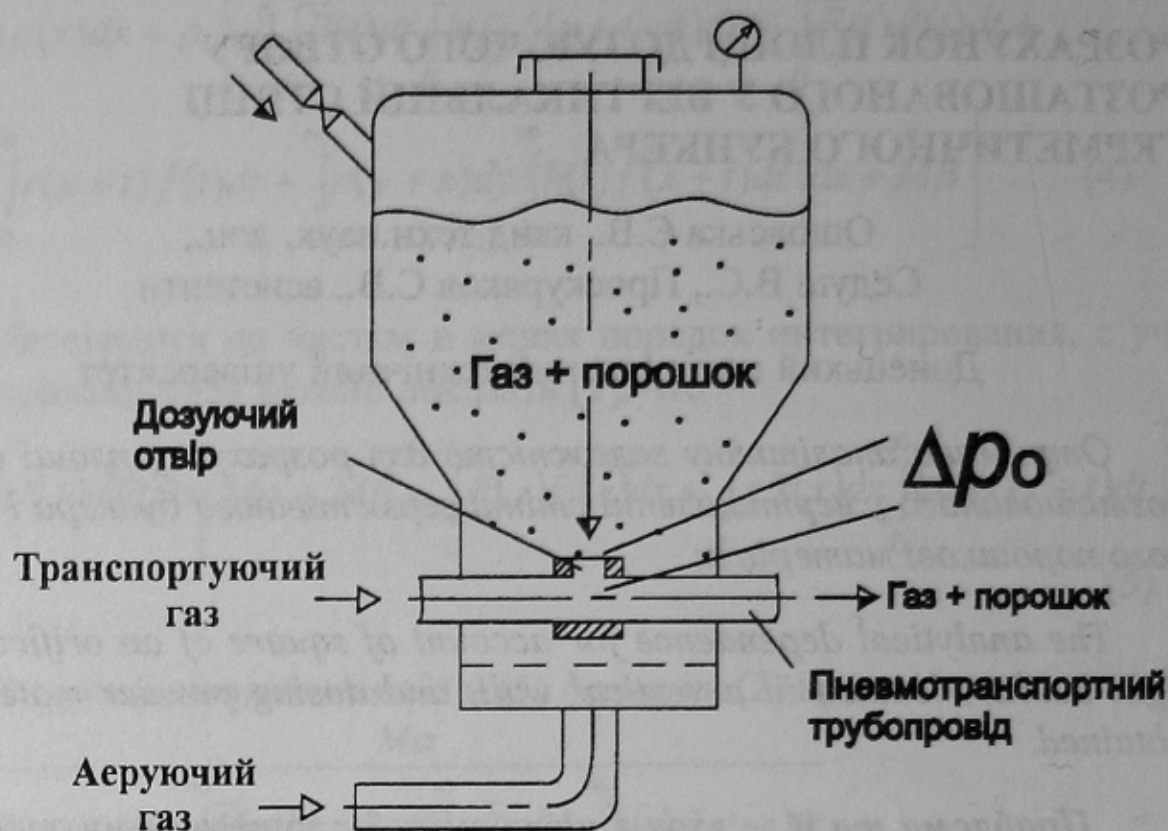


Рисунок 1 - Схема видачі матеріалу з дозуючого отвору живильника в пневмотранспортний трубопровід.

У роботах [3,4] наведені залежності для розрахунку площі дозуючого отвору у функції точності дозування матеріалу. Однак дані залежності отримані в припущенні, що точність дозування матеріалу визначається ступенем відхилення миттєвої витрати матеріалу живильником $m_{т.м}$ від його розрахункового значення m_t . У той же час, сталість у часі миттєвої витрати матеріалу живильником, тобто коли $m_{т.м} = dM_t / dt = const$ (M_t – маса матеріалу, виданого живильником за цикл його роботи, t – час) характеризує рівномірність видачі матеріалу живильником, а під точністю дозування матеріалу звичайно мають на увазі ступінь відхилення фактичної витрати матеріалу $m_{т.ф}$ від його розрахункового значення [5-6] і встановлюють вираженням

$$\chi = \left| \frac{m_{т.ф} - m_t}{m_t} \right| \cdot 100\%. \quad (1)$$

Фактичну витрату живильника при цьому встановлюють по масі матеріалу, виданого за один цикл роботи живильника, тобто $m_{т.ф} = M_T / t_{ц}$, де $t_{ц}$ – тривалість циклу.

Більшість фахівців [1,7] для визначення витрати порошку через дозуючий отвір використовують залежність виду

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

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; $\varepsilon = F_T / F_o$ – істинний газовміст суміші в отворі; F_T – площа отвору, зайнята газом.

Витратний коефіцієнт отвору μ_o слабо залежить від параметрів газопорошкової суміші, тому цей параметр вважають таким, що не змінюється і не впливає на витрату порошку через отвір. Тоді, відповідно до (2) витрата порошку m_T (а відповідно і точність його дозування χ) повинна визначатися величинами F_o , Δp_o і ε .

Домогтися високої точності дозування порошку через отвір можна, збільшуючи перепад тиску газу на ньому. У цьому випадку незначні зміни тиску газу і його пульсації не приводять до істотної зміни витрати порошку через отвір. Реалізувати це можна, зменшуючи площу дозуючого отвору F_o або підвищуючи газовміст суміші ε у ньому. Однак обидва ці шляхи приводять до підвищення швидкості матеріалу в отворі u_T , що відповідно до [7, стор.91] визначається залежністю

$$u_T = m_T / \rho_T F_o (1 - \varepsilon). \quad (3)$$

Висока швидкість руху матеріалу в отворі приводить до інтенсивного абразивного зносу стінок дозуючого отвору і відповідно до збільшення його площі і витрати порошку через нього, у результаті чого знижується точність дозування матеріалу.

Спроба усунути це явище була почата автором [8], що запропонував для забезпечення мінімальної швидкості руху порошку в дозу-

ючому отворі $u_{т.мін}$ установлювати газовміст суміші в ньому ε відповідно до залежності

$$\varepsilon = k_0 \left(1 - \frac{\rho_H}{\rho_T} \right), \quad (4)$$

де k_0 – коефіцієнт, що враховує особливості псевдозрідження порошку; ρ_H – насипна щільність порошку.

Постановка задачі. Проте, аналіз залежностей (2)-(4) показує, що при заданій витраті порошку через отвір m_T , установити його площу F_0 , при якій забезпечується як необхідна точність дозування порошку χ , так і мінімальна швидкість руху порошку в отворі $u_{т.мін}$ неможливо. Для цього необхідно мати залежність, що встановлює зв'язок перепаду тиску газу на отворі Δp_0 з необхідною точністю дозування порошку χ , яка у даний момент відсутня.

Викладення матеріалу та результати. Для рішення поставленої задачі розглянемо процес витікання газопорошкової суміші через отвір у вертикальній стінці герметичного бункера (рисунок 2). У цьому випадку відсутня гравітаційна складова швидкості порошку, що у міру спорожнювання бункера не приводить до зміни швидкості порошку на вході в отвір, а отже не порушує точності дозування порошку живильником.

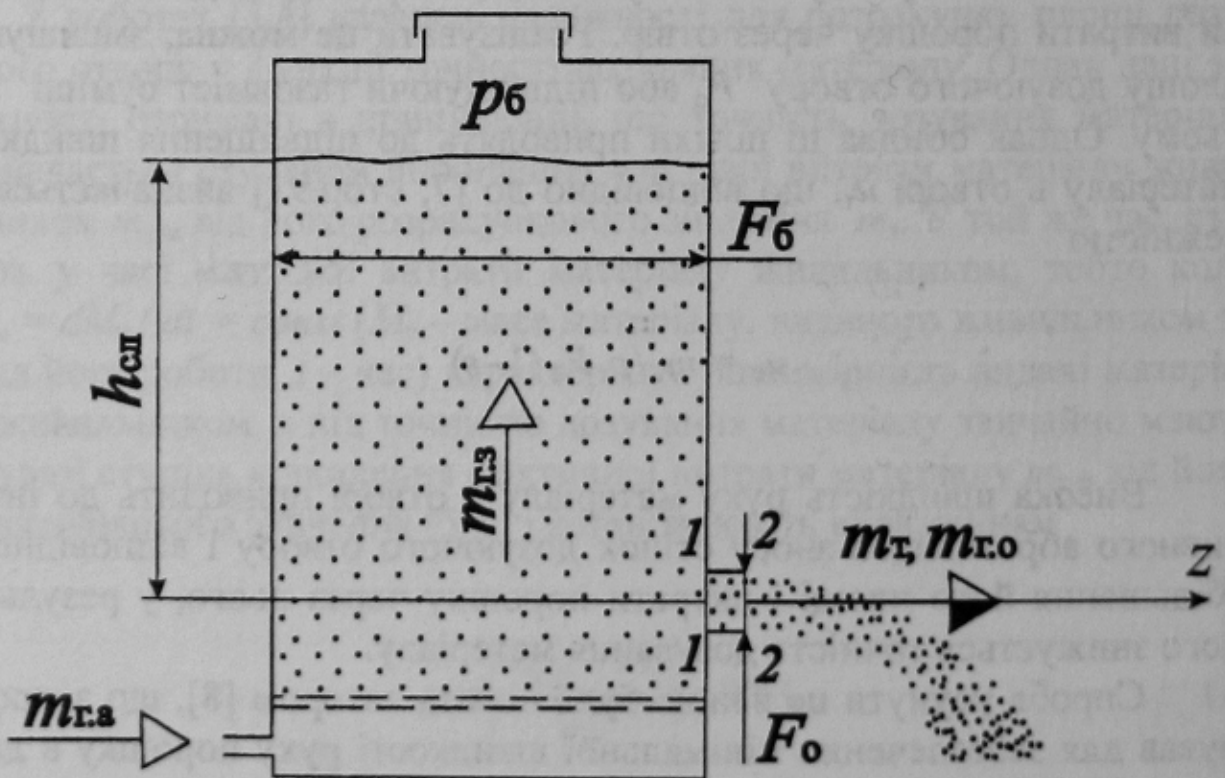


Рисунок 2 - Схема витікання.

При такому розташуванні отвору, витікання порошку з отвору буде відбуватися за рахунок перепаду тиску газу на ньому, що складає

$$\Delta p_o = p_6 + \Delta p_{сл} - p_2, \quad (5)$$

де p_6 – тиск газу в бункері; $\Delta p_{сл}$ – перепад тиску газу в шарі аерованого порошку перед дозуючим отвором.

Очевидно, що, навіть підтримуючи постійними тиск газу в бункері p_6 і на виході з отвору p_2 , забезпечити постійним перепад тиску газу на ньому Δp_o не вдається, тому що в міру видачі порошку з бункера знижується висота шару порошку в бункері і відповідно $\Delta p_{сл}$. Також очевидно, що перепад тиску газу в шарі порошку $\Delta p_{сл}$ визначає і точність дозування порошку (чим вище висота шару порошку над отвором, тим нижче буде точність дозування його отвором).

Нарощуванням тиску газу в бункері можна знизити ступінь впливу $\Delta p_{сл}$ на перепад тиску газу на отворі і тим самим підвищити точність дозування порошку, але при цьому збільшується і витрата порошку через отвір. Тому, для збереження постійної витрати порошку, необхідно зменшувати площу перетину отвору, що створює істотні труднощі у регулюванні перепаду тиску газу на отворі, а також приводить до зростання швидкості руху порошку в отворі.

Якщо площу перетину дозуючого отвору зберігати незмінною ($F_o = \text{const}$), то, підставивши залежність (4) у (2), після перетворень одержимо, що витрата порошку через дозуючий отвір при мінімальній швидкості руху в ньому порошку $u_{т, \min}$ складає

$$m_T = \mu_o F_o \sqrt{2 \Delta p_o (k_o \rho_H - (k_o - 1) \rho_T)}. \quad (6)$$

Якщо тиск газу в бункері p_6 і за отвором p_2 підтримувати постійними, то перепад тиску газу на отворі при необхідній точності дозування порошку χ відповідно до (1), (5) і (6) визначимо залежністю

$$\Delta p_o = \frac{\Delta p_{сл}}{(1 + 0,01\chi)^2 - 1}, \quad (7)$$

тут χ - точність дозування порошку, виражена в %.

Підставивши (7) у (6) установимо площу дозуючого отвору F_o , при якій забезпечується дозування порошку з точністю χ при мінімальній швидкості руху його в отворі $u_{T.min}$

$$F_o = \frac{m_T}{\mu_o \sqrt{2 \frac{\Delta p_{сл}}{(1 + 0,01\chi)^2 - 1} (k_o \rho_H - (k_o - 1) \rho_T)}}. \quad (8)$$

Для оцінки залежності (8) представимо перепад тиску газу в шарі порошку $\Delta p_{сл}$ у виді, що відповідає випадковій ідеальному псевдозрідження його в бункері [9, стор.49, стор.56]

$$\Delta p_{сл} = \rho_T g h_{сл} (1 - \epsilon_{сл}) w, \quad (9)$$

де $h_{сл}$ і $\epsilon_{сл} = (1 - \rho_H / \rho_T)$ – висота і порозність шару порошку над отвором; $w = u_{г.з} / u_{н.п}$ – число псевдозрідження; $u_{г.з}$ – швидкість руху газу, що заміщує матеріал, приведена до перетину бункера; $u_{н.п}$ – швидкість початку псевдозрідження порошку.

Якщо тиск газу у бункері підтримується постійним ($p_b = const$) і при цьому забезпечується умова $p_b \gg \Delta p_{сл}$, що відповідає реальним умовам роботи живильників, то масова витрата газу $m_{г.з}$, що необхідний для заміщення об'єму видаваного з бункера порошку з витратою m_T , складає

$$m_{г.з} = \frac{m_T \rho_{г.б}}{\rho_T}, \quad (10)$$

де $\rho_{г.б}$ – щільність газу в бункері.

Швидкість руху газу, що заміщує матеріал, приведена до перетину бункера $u_{г.з}$ складе

$$u_{г.з} = \frac{m_{г.з}}{\rho_{г.б} F_k}, \quad (11)$$

або з урахуванням (10)

$$u_{г.з} = \frac{m_T}{\rho_T F_K}. \quad (12)$$

Швидкість початку псевдозрідження порошків, наприклад, з еквівалентним діаметром часток $d_e < 0,5$ мм за даними [10] визначається залежністю

$$u_{н.п} = \frac{g d_e^2 (\rho_T - \rho_{г.б})}{1650 \mu_T}, \quad (13)$$

де μ_T – коефіцієнт динамічної в'язкості газу.

Отже, підставляючи (7), (12) і (13) у залежність (8), представимо її у зручному для оцінки вигляді:

$$F_o = \sqrt{A m_T \frac{(1 + 0,01 \chi)^2 - 1}{\mu_o^2 h_{сл}}}, \quad (14)$$

де $A = F_K d_e^2 (\rho_T - \rho_{г.б}) / [3300 (k_o \rho_H - (k_o - 1) \rho_T) (1 - \varepsilon_{сл}) \mu_T]$ – узагальнений параметр, що у процесі витікання порошку з бункера практично не змінюється.

З рівняння (14) випливає, що при постійній площі дозуючого отвору ($F_o = \text{const}$), а також прийнятій раніше умові $\mu_o = \text{const}$, нарощування витрати порошку m_T буде визначатися зменшенням значення χ , тобто підвищенням точності дозування порошку.

Це дозволяє, з урахуванням прийнятих допущень, одержати на основі (8) остаточну залежність для розрахунку значення площі дозуючого отвору F_o , що забезпечує як мінімальну швидкість руху порошку в отворі $u_{T,\text{min}}$, так і необхідну точність його дозування χ у всьому діапазоні регулювання витрати порошку живильником $m_T = m_{T,\text{min}} \dots m_{T,\text{max}}$

$$F_0 = \frac{m_{T.min}}{\mu_0 \sqrt{2 \frac{\Delta p'_{сл}}{(1 + 0,01\chi)^2 - 1} (k_0 \rho_H - (k_0 - 1) \rho_T)}}, \quad (15)$$

де $\Delta p'_{сл}$ – перепад тиску газу в шарі порошку, що відповідає мінімальній його витраті $m_{T.min}$.

Висновки та напрямок подальших досліджень:

1. Отримано аналітичну залежність (15) для розрахунку значення площі дозуючого отвору, що забезпечує як мінімальну швидкість руху порошку в отворі, так і необхідну точність його дозування у всьому діапазоні регулювання витрати порошку через отвір

2. Подальші дослідження повинні бути спрямовані на визначення параметрів μ_0 , k_0 , $\Delta p'_{сл}$, що входять у рівняння (15), а також експериментальне підтвердження отриманої залежності для порошкових матеріалів різної щільності та гранулометричного складу.

Список джерел:

1. Сидоренко Г.Н. Совершенствование системы дозирования и контроля расхода пылеугольного топлива при вдувании в доменную печь: Дис... канд. техн. наук: 05.16.02.- Донецк, 1986. - 152с.
2. Кузнецов Ю.М., Шляпников Л.К., Шур Е.С. Аэродинамика системы вдувания порошкообразных материалов в ковш // Сталь. - 1987. - №7. - С.31-34.
3. Седуш В.С. Повышение износостойкости дозирующих отверстий в аэрационных питателях порошковых и пылевидных материалов // Захист металургійних машин від поломок: Зб. наук.пр. – Маріуполь, 2003. – Вип.7. – С.158-161.
4. Седуш В.С. Расчет площади дозирующего отверстия аэрационных питателей пылевидных и порошковых материалов // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. - Донецк: ООО «Лебедь», 2004. - Вып.27. - С.210-214.
5. Усачев В.П., Кононов Д.А. Повышение точности дозирования вибрационных питателей // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2002. - №6. – С.83-85.
6. Богдан К.С. Повышение точности весового дозирования литейной шихты // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2002. - №6. – С.32-34.
7. Ефименко С.П., Мачикин В.И., Лифенко Н.Т. Внепечное рафинирование металлов в газ-лифтах. М.: Металлургия, 1986. – 264 с.
8. Кузнецов Ю.М. Камерный питатель для процессов инъекционной металлургии (эксперимент, расчет, конструкция). Производственно-техническое издание. -М.:Интернет Инжиниринг, 2000.-57с.
9. Гельперин Н.И., Айнштейн В.Г., Кваша В.Б. Основы техники псевдооживления. - М.: Химия, 1967. - 664 с.
10. Кунии Д., Левеншпиль О. Промышленное псевдооживление: Пер.с англ. / Под.ред. М.Г. Слинко. - М.: Химия, 1976. - 488 с.

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