

сущего газа падает. Так, например, на длине сопла  $l = 150$  мм увеличение  $\delta/\delta_j$  с 0,1 до 1,0 приводит к росту скорости  $w_1$  несущего газа с 200 до 237 м/с.

Главная рекомендации – сопло фурмы должно быть коротким и строго соответствовать расходу газоносителя  $m_1$ , который следует предварительно нагревать. Тогда скорость газоносителя  $w_1$  можно увеличить в несколько раз.

УДК 669.162.2

**Р.Д. Куземко<sup>1</sup>, В.В. Калинин<sup>2</sup>, Р.В. Авдеев<sup>3</sup>, А.С. Черненко<sup>2</sup>, А. А. Майборода<sup>1</sup>**

1 – ГВУЗ ПГТУ, г. Мариуполь; 2 – кафедра теплофизики ОНУ, г. Одесса;

3 – МК «Азовсталь», г. Мариуполь

## **ВЛИЯНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ВОССТАНОВЛЕНИЯ НОРМАЛЬНОЙ СКОРОСТИ ЧАСТИЦ ПРИ УДАРАХ О СТЕНКУ НА СИЛУ ВНУТРИФАЗНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРИ РАЗЛИЧНОМ ФРАКЦИОННОМ СОСТАВЕ ПЫЛЕУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА, ВДУВАЕМОГО ЧЕРЕЗ ФОРСУНКУ В ДОМЕННУЮ ПЕЧЬ**

*Актуальность проблемы.* На металлургических комбинатах до 60 % энергетического потенциала завода потребляет доменный цех. Энергоресурсосбережение – ключевая проблема меткомбинатов Украины. Впервые разработанная на Украине технология вдувания пылеугольного топлива в доменные печи (ПУТ) сейчас внедряется и на ЧАО МК «Азовсталь». Технология позволяет снизить расход кокса на 40 – 50 % и, как считают в Европе, решить не менее важную проблему – снизить экологическую нагрузку в промышленном районе. Однако при освоении этой высокой технологии возникли и серьезные проблемы – неполное горение пылеугольного топлива в фурменной зоне доменной печи.

Решение этой наукоемкой задачи зависит от аэродинамики течения газозвеси в форсунке и параметров истекающего пылеугольного факела. На этот негорящий факелочек угля в пределах фурменного прибора и факел горения в фурменном очаге влияют многочисленные факторы. Метод «проб и анализа ошибок», который применяли при освоении ПУТ на ДМЗ, привел только к тому, что (с 1963 г по 2013 г) сменили 4 поколения оборудования и за многие годы достигли только тех вершин (170 кг угля на 1 т чугуна), которые на МК им. Ильича удалось достичь за 2 года.

Научно – технический потенциал вузов страны и институтов НАН Украины достаточен, чтобы не допустить ошибки, которые были, и появилась возможность совершить технологический прорыв в наукоемкой технологии. Ученые вузов уже приступили к разработке технологических карт, с помощью которых при подаче угольной пыли через угольную форсунку в фурменный очаг доменной печи будут учтены ~ 30 факторов и физических воздействий.

*Цель исследования* – решив систему дифференциальных и алгебраических уравнений показать, как на одну из главных сил, действующих в полидисперсном потоке – силу внутрифазного взаимодействия  $I_{ij}$  – оказывает влияние форма частиц порошка, а так же удары частиц о стенку форсунки и между собой.

*Математическая модель.* Использовали модель течения полидисперсного потока, включающую систему неизотермического течения газозвеси в одномерной постановке (всего ~ 40 уравнений). Например, уравнение движения многофракционной смеси для  $i$  – той фракции записывали в форме

$$G_i \frac{dw_i}{dx} = -\varepsilon_i \frac{dp}{dx} + \sum_{j=2}^N F_{ji} - F_{iw} + \varepsilon_i \rho_i g \sin \alpha + \sum_{j=2}^N I_{ij},$$

где силу внутрифазного взаимодействия частиц  $i$  – той и  $j$  – той фракций рассчитывали, как

$$I_{i,j} = 3/4(1-k_n) E_{ji} (w_j - w_i) |w_j - w_i| \rho_2 \varepsilon_j \varepsilon_i (\delta_j + \delta_i)^2 / (\delta_j^3 + \delta_i^3).$$

Коэффициент потери импульса дисперсной примеси из – за ударов о стенку форсунки находили по формулам:

$$\zeta_2 = 8B (1 - k_\tau) k_v k_u, \quad B = \frac{2\sqrt{k_n}}{7k_n + 2k_\tau + 5}, \quad k_u = \frac{2}{3} \frac{Stk_i}{1 + Stk_i}, \quad Stk_i = \frac{\delta_i^2 \rho_2 w_i}{18\eta D}.$$

В приведенных формулах приняты следующие обозначения:  $w_i$ ,  $\varepsilon_i$  – скорость, м/с, и объемная доля  $i$  – той фракции дисперсной фазы;  $G_i$  – приведенный расход частиц  $i$  – той фракции, кг/(с·м<sup>2</sup>);  $p$  – давление, Па;  $\rho_i$  – плотность частиц, кг/м<sup>3</sup>;  $F_{1i}$ ,  $I_{ij}$ ,  $F_{iw}$ , – силы межфазного и внутрифазного взаимодействия, а так же трения газа о стенку, Н/м<sup>3</sup>;  $\eta$  – коэффициент динамической вязкости газа, Па/с.

Из рисунка видно, что если коэффициент восстановления нормальной скорости частиц при ударе о стенку  $k_n \rightarrow 1$  (нулевое отражение частиц), то сила  $I_{ij} \rightarrow I_{ijmin}$ , что подтверждает правильность решения поставленной задачи.

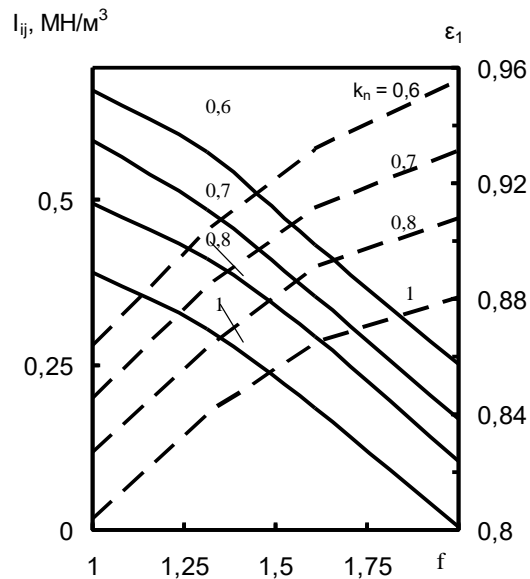


Рисунок – Влияние коэффициентов формы  $f$  частиц и коэффициента нормальной скорости  $k_n$  на силу  $I_{ij}$  (—) внутрифазного взаимодействия и объёмную долю газовой фазы  $\varepsilon_1$  (---) в выходном сечении форсунки. Исходные данные:  $D = 16$  мм,  $l = 2,6$  м,  $k_T = 0,7$ ,  $\mu = 32$  кг/кг,  $m_2 = 20$  кг/мин,  $V_H = 30$  м<sup>3</sup>/ч,  $\delta_i = 0,025$  мм; 0,05 мм; 0,1 мм; 0,15 мм,  $\delta_j = 0,2$  мм;

Учет не 2-х факторов, как сделано в настоящей работе, а, например,  $\sim 16$  дает возможность более полно представить картину сложного течения пылеугольной смеси в форсунке доменной печи, а далее профессионально моделировать горения частиц угля в фурменной зоне доменной печи.

УДК 669.18.001

Р. Д. Куземко<sup>1</sup>, И. А. Ленцов<sup>1</sup>, С. В. Козловцев<sup>2</sup>, А. С. Черненко<sup>3</sup>,  
В. О. Синельников<sup>1</sup>, К. В. Васенев<sup>1</sup>

1 – ГВУЗ ПГТУ, Мариуполь; 2 – ММК им. Ильича, Мариуполь, 3 – ОНУ, г. Одесса;

### ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ РАВНОВЕСНОГО ГАЗОПОРОШКОВОГО ПОТОКА В ТОРКРЕТ – ФУРМЕ 160т КОНВЕРТЕРА

Известно, что стойкость футеровки кислородных конвертеров на меткомбина-тах ряда стран мира уже достигает 50 – 70 тыс и более плавов, а на комбинатах Украины не превышает 7 тыс плавов. В металлургии освоены только 2 основных способа повышения стойкости футеровки – раздув конечного шлака и факельное