



УДК 669.162.211.6:662.87.001.5

Б.В. КОРНИЛОВ, младший научный сотрудник, **А.Л. ЧАЙКА**, канд. техн. наук, старший научный сотрудник, **А.А. СОХАЦКИЙ**, канд. техн. наук, научный сотрудник, **В.Ю. ШОСТАК**, ведущий инженер
Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАНУ (ИЧМ им. З.И. Некрасова НАНУ), г. Днепропетровск

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ КОЛОШНИКОВОГО ГАЗА И КОНСТРУКЦИИ КОЛОШНИКА НА ВЫНОС ПЫЛИ

Целью работы является исследование выноса колошниковой пыли в зависимости от газодинамического режима свободной от шихтовых материалов области колошника. Установлены закономерности изменения выноса колошниковой пыли и потерь давления в зависимости от изменения параметров газового потока на колошнике.

Ключевые слова: доменная печь, колошник, газодинамика, вынос пыли, потери давления.

В настоящее время наряду с проблемой энергосбережения в доменном производстве требуют решения вопросы продолжительности эксплуатации доменных печей (ДП) и обслуживающих их агрегатов, в значительной мере зависящей от устойчивости протекания газодинамических процессов в ДП, в частности на колошнике [1]. Одним из негативных факторов, влияющих на технико-экономические показатели доменной плавки и характеризующих рациональность выбранного газодинамического режима работы печи, является вынос колошниковой пыли. Его увеличение может стать причиной сокращения ресурса работы газоочистки на ДП, ухудшения технико-экономических показателей плавки и нарастания гарнисажа в газоотводах. Последнее приводит к ухудшению оттока колошникового газа и, как следствие, к увеличению потерь давления.

С целью контроля и уменьшения выноса колошниковой пыли разработана модель, учитывающая движение твердой фазы в газовом потоке. Эта модель позволяет вычислять массу уходящей пыли в зависимости от конструкции колошника, параметров колошникового газа и потерь давления на вынос данной пыли.

На основе аналитических исследований течения газа в свободной от шихтовых материалов области колошника и расчетов получена закономерность движения газового потока применительно к линиям тока (рис. 1), начиная от поверхности шихтовых материалов и заканчивая входом газа в газоотводы [2].

Основываясь на классических законах механики, составлено уравнение движения пылинки, представленной в виде шара малой массы с малым радиусом [3–5]. В векторной форме закон обтекания частицы пыли имеет вид

$$m\vec{w} = \vec{G} + \vec{F}_{\text{сопр}}, \quad (1)$$

© Б.В. Корнилов, А.Л. Чайка, А.А. Сохацкий, В.Ю. Шостак

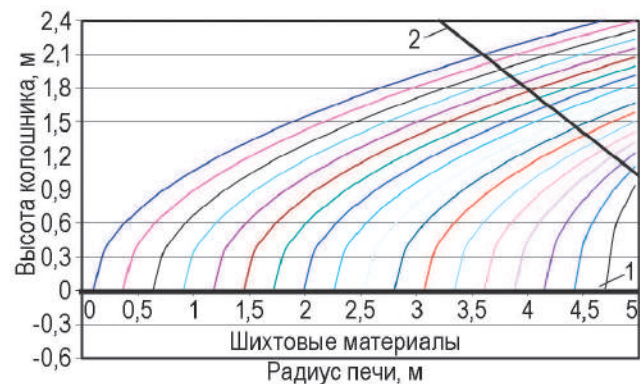


Рисунок 1 – Линии тока колошникового газа:

1 – уровень шихтовых материалов; 2 – вход газа в газоотвод

где m – масса частицы пыли, \vec{w} – ускорение пылинки относительно газового потока, $\vec{G} = m\vec{g}$ – сила тяжести, действующая на частицу пыли массой m , $\vec{F}_{\text{сопр}}$ – сила сопротивления частицы газовому потоку.

Сила сопротивления газовому потоку зависит как от газодинамических параметров газа, обтекающего пылинку, так и от физических параметров частицы пыли

$$F_{\text{сопр}} = C_x \rho V^2, \quad (2)$$

где ρ – плотность пыли, кг/м^3 ; V – скорость набегающего газа на твердую фазу (в данном случае – разница между скоростями газового потока и частицы пыли $V = V_{\text{газ}} - V_{\text{пыль}}$), м/с ; C_x – коэффициент сопротивления твердой частицы газовому потоку, который зависит от числа Рейнольдса (рис. 2).

Число Рейнольдса – безразмерная величина, характеризующая отношение инерционных сил к силам вязкости в газовом потоке. Оно определяется соотношением

$$Re = \frac{V \cdot d}{\nu}, \quad (3)$$

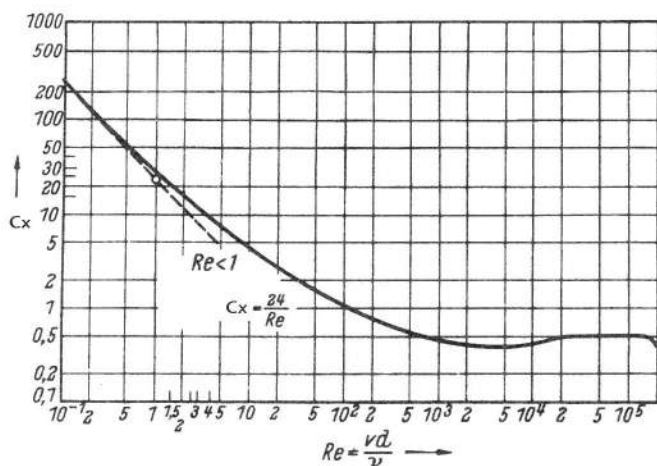


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента сопротивления C_x от числа Рейнольдса Re при обтекании шара

где V – скорость потока газа, м/с;

ν – кинематическая вязкость газа, м²/с;

d – диаметр пылинки, м.

Разложив уравнение (1) по осям x и y , получим следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dV_x}{dt} = -F_{\text{сопр } x}, \\ \frac{dV_y}{dt} = -G - F_{\text{сопр } y}, \end{cases} \quad (4)$$

где V_x и V_y – проекции скорости газового потока, действующей на частицы пыли в этом потоке, на оси x и y соответственно, м/с;

G – сила тяжести, действующая на частицу, Н;

$F_{\text{сопр } x}$ и $F_{\text{сопр } y}$ – проекции силы сопротивления частицы пыли газовому потоку на оси x и y , Н.

Численная модель реализована с применением метода Рунге-Кутты [6]. В качестве входящих пара-

метров для расчета заданы параметры газового потока, плотность и фракционный состав выходящей пыли. Рассчитаны масса выходящей из печи пыли и потеря давления газа на обтекание частиц.

На начальном этапе исследования выноса колошниковой пыли проверена адекватность результатов, полученных по разработанной модели, путем их сравнения с фактическими данными по выносу пыли на ДП «Россиянка» ОАО «НЛМК» (рис. 3).

Как видно из рис. 3, отклонение расчетного выноса пыли от фактических данных не превышает 20 %, что позволяет использовать разработанную модель для прогнозирования выноса колошниковой пыли в зависимости от параметров газового потока.

Получены прогнозные варианты выноса колошниковой пыли и потерь давления на ее вынос в зависимости от газодинамических параметров на колошнике и размеров уходящей пыли при выходе колошникового газа, равном 605 тыс. нм³/час, и температуре 20 °С – в соответствии с рекомендациями, разработанными инженеринговой компанией Paul Wurth (Люксембург) для ДП «Россиянка» ОАО «НЛМК». Расчеты проводились для крупности пыли в пределах 0,1–0,3 мм [7].

На первом этапе исследования получены результаты при фиксированном давлении под колошником $p = 2$ ати (рис. 4, 5). Установлено, что с уменьшением размера колошниковой пыли ее вынос существенно увеличивается. Например, при уменьшении диаметра частицы пыли на 33 % (с 0,3 до 0,2 мм) и тех же газодинамических параметрах отходящего газа вынос колошниковой пыли увеличивается с 80 до 130 т/сут, а при уменьшении диаметра на 50 % (с 3,0 до 1,5 мм) вынос увеличивается с 80 до 200 т/сут (рис. 4).

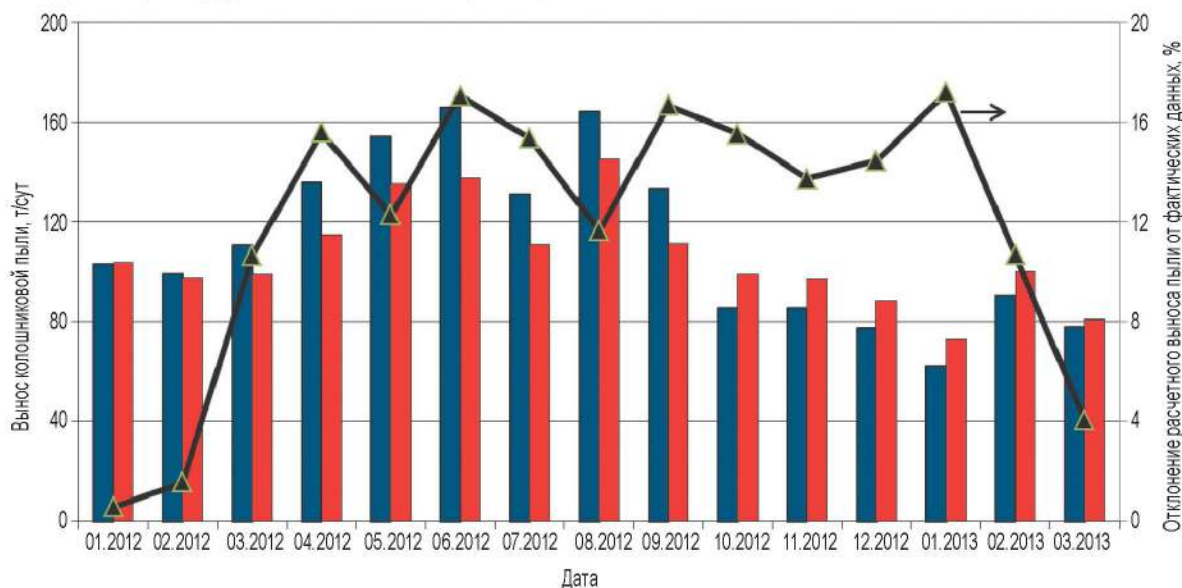


Рисунок 3 – Сравнение выноса колошниковой пыли по фактическим и расчетным данным



В то же время при уменьшении размера пылинки потери давления на вынос колошниковой пыли уменьшаются. Например, если диаметр частицы пыли равен 0,3 мм, потери давления на колошнике при фиксированной температуре составляют 4,6 ати, а при уменьшении диаметра на 50 % (до 0,15 мм) они уменьшаются до 3,7 ати (рис. 5).

При увеличении температуры колошникового газа со 100 до 200 °С вынос колошниковой пыли, состоящей из частиц диаметром 0,25 мм, уменьшается со 113 до 103 т/сут, а потери давления на колошнике увеличиваются с 4,0 до 4,8 кПа (рис. 4, 5).

На втором этапе исследования получены результаты при заданной крупности выносимой пыли, равной 0,25 мм (рис. 6). Установлено, что при увеличении давления под колошником вынос колошниковой пыли уменьшается. Например, при давлении под колошником 1 ати

и фиксированной температуре отходящего газа вынос колошниковой пыли равен 120 т/сут, а при увеличении давления под колошником до 2,5 ати и той же температуре вынос пыли уменьшается до 100 т/сут (рис. 6а). Кроме того, увеличение давления под колошником приводит к уменьшению потерь давления на колошнике. Например, при давлении под колошником 1 ати и фиксированной температуре отходящего газа потери давления на колошнике составляют 5,5 кПа, а при увеличении давления до 2,5 ати и той же температуре они уменьшаются до 4 кПа (рис. 6б).

Получены зависимости изменений выноса колошниковой пыли и потерь давления на выносе пыли в условиях изменения выхода колошникового газа. Расчет проводился при фиксированном давлении под колошником, равном 2 ати, и крупности уходящих материалов 0,2 мм.

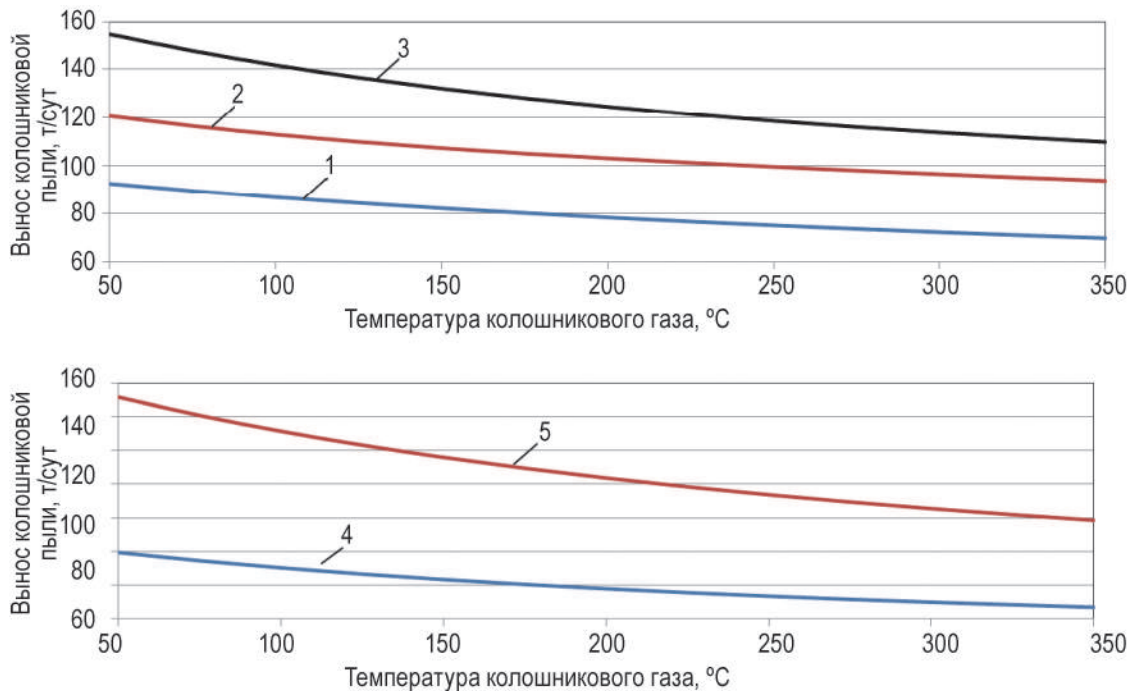


Рисунок 4 – Вынос колошниковой пыли в зависимости от температуры колошника
(диаметр пылинок: 1 – $d = 0,3$ мм; 2 – $d = 0,25$ мм; 3 – $d = 0,2$ мм; 4 – $d = 0,15$ мм; 5 – $d = 0,1$ мм)

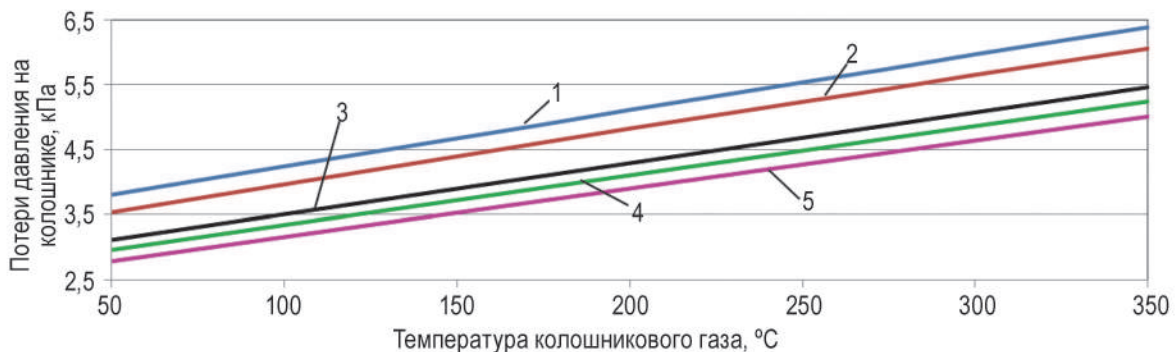


Рисунок 5 – Потери давления на колошнике в зависимости от температуры колошника
(диаметр пылинок: 1 – $d = 0,3$ мм; 2 – $d = 0,25$ мм; 3 – $d = 0,2$ мм; 4 – $d = 0,15$ мм; 5 – $d = 0,1$ мм)

Установлено, что при увеличении выхода колошникового газа увеличивается вынос колошниковой пыли. Например, при расходе колошникового газа 400 тыс. $\text{нм}^3/\text{час}$ и фиксированной температуре отходяще-

го газа вынос колошниковой пыли равен 90 т/сут, а при увеличении выхода колошникового газа до 700 тыс. $\text{нм}^3/\text{час}$ и той же температуре он возрастает до 160 т/сут (рис. 7а). С увеличением выхода колошникового газа растут потери

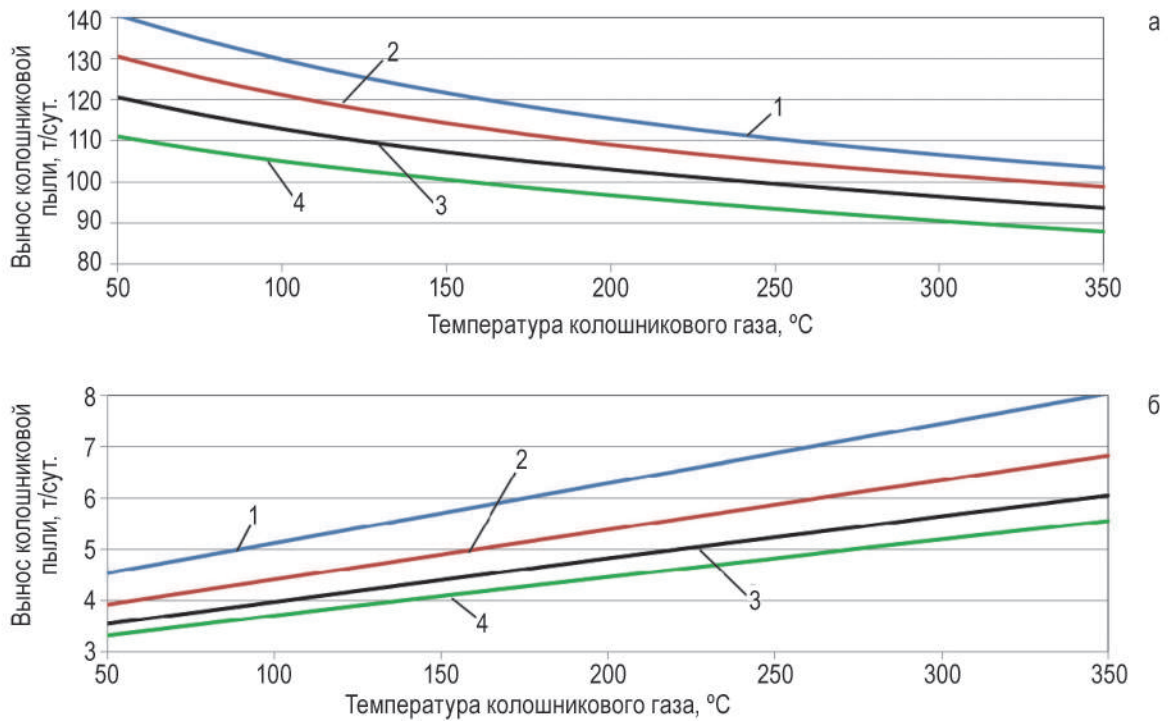


Рисунок 6 – Вынос колошниковой пыли ($d = 0,25 \text{ мм}$) и потери давления на выносе пыли в зависимости от температуры колошника
(давление под колошником: 1 – $p = 1 \text{ ати}$; 2 – $p = 1,5 \text{ ати}$; 3 – $p = 2 \text{ ати}$; 4 – $p = 2,5 \text{ ати}$)

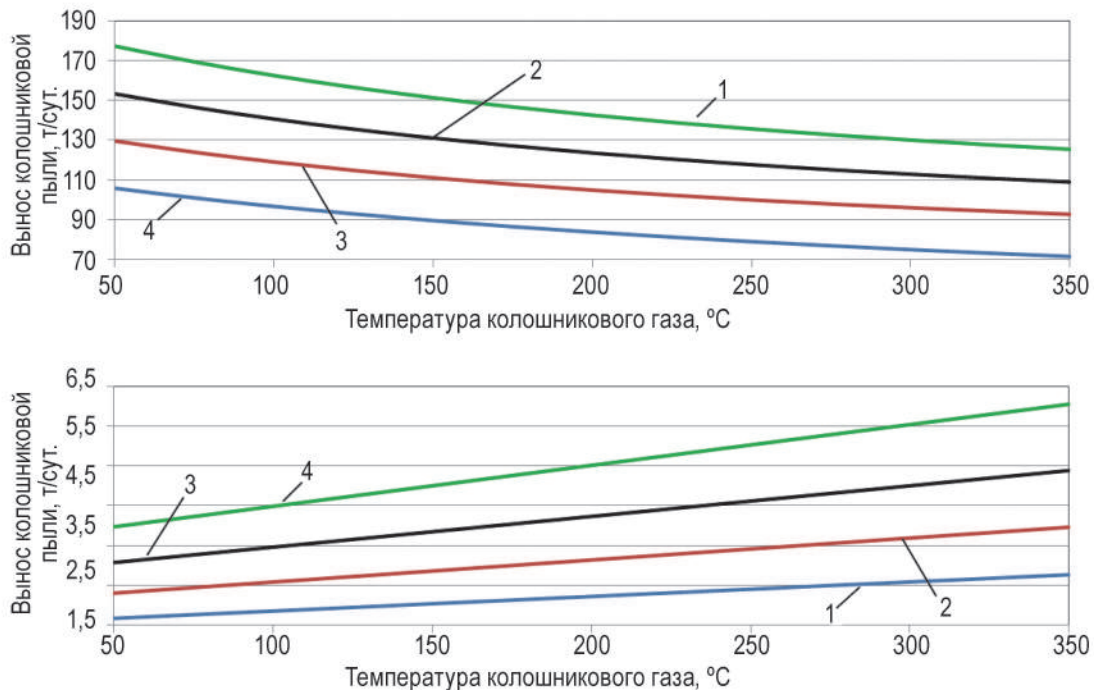


Рисунок 7 – Вынос колошниковой пыли и потери давления на выносе пыли в зависимости от температуры колошника
(выход колошникового газа: 1 – $F = 400 \text{ тыс. нм}^3/\text{час}$; 2 – $F = 500 \text{ тыс. нм}^3/\text{час}$; 3 – $F = 600 \text{ тыс. нм}^3/\text{час}$; 4 – $F = 700 \text{ тыс. нм}^3/\text{час}$)



давления на колошнике. Например, при расходе колошникового газа 400 тыс. $\text{нм}^3/\text{час}$ и фиксированной температуре отходящего газа потери давления на колошнике равны 1,8 кПа, а при увеличении расхода колошникового газа до 700 тыс. $\text{нм}^3/\text{час}$ и той же температуре они возрастают до 5,5 кПа (рис. 76).

ВЫВОДЫ

Разработана модель, учитывающая движение твердой фазы в газовом потоке и позволяющая вычислять массу уходящей пыли в зависимости от конструкции колошника и параметров колошникового газа, а также определять величину потерь давления на колошнике.

Установлено, что на изменение выноса пыли при прочих равных условиях в большей мере влияет крупность отходящих пылинок. Уменьшение размеров пылинок на 50 % приводит к увеличению выноса пыли на 150 % и уменьшению потерь давления на колошнике на 10–15 %.

С ростом температуры колошникового газа вынос колошниковой пыли уменьшается, а потери давления – увеличиваются. Так, повышение температуры на 50 °С позволяет уменьшить вынос пыли на 4–7 %, однако потери давления на колошнике возрастут при этом на 0,4–0,6 кПа.

Повышение давления под колошником приводит к уменьшению и выноса колошниковой пыли, и потерь давления. Увеличение давления на 0,5 ати позволит сократить вынос пыли на 7–10 %, при этом потери давления на колошнике уменьшатся на 0,2–0,5 кПа.

Метою роботи є дослідження виносу колошникового пилу залежно від газодинамічного режиму вільної від шихтових матеріалів області колошника. Встановлено закономірності зміни виносу колошникового пилу і втрат тиску залежно від зміни параметрів газового потоку на колошнику.

Увеличение выхода колошникового газа сопровождается увеличением выноса колошниковой пыли и потерь давления. При возрастании выхода газа на 20 % происходит увеличение выноса пыли на 20 %, а потеря давления на колошнике – на 0,4–1,4 кПа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Домна в энергетическом измерении / А. В. Бородулин, А. Д. Горбунов, Г. И. Орел, В. И. Романенко [и др.]. – Кривой Рог : СП «Мир», 2004. – 436 с.
2. Корнилов Б. В. Исследование газодинамической работы колошника / Б. В. Корнилов, Н. Н. Лычагин, А. Л. Чайка // Теория и практика тепловых процессов в металлургии : сб. докл. междунар. науч.-практ. конф. 18–21 сент. 2012 г. – Екатеринбург : УрФУ, 2012. – С. 99–107.
3. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа / Л. Г. Лойцянский. – М. : Наука, 1970. – 904 с.
4. Давідсон В. Є. Вступ до гідродинаміки : підручник ; пер. з рос. / В. Є. Давідсон. – Дніпропетровськ : ДНУ, 2004. – 216 с.
5. Абрамович Г. Н. Прикладная газовая динамика / Г. Н. Абрамович. – М. : Наука, 1969. – 824 с.
6. Роуч П. Вычислительная гидродинамика / П. Роуч. – М. : Мир, 1980. – 616 с.
7. Ratio between unconsumed coal and coke particle in BF dust / Keng Wu, Hongfei Chen, Haixi He et al. // Steel Research. – 2008. – 79. № 12. – P. 899–903.

Поступила в редакцию 02.04.2014

Work purpose is investigation of flue-dust ejection depending on gas-dynamic mode of top area that is free of burden materials. One be defined regularity of change of flue-dust ejection and pressure loss according to change parameters of gas flow at top.