

УДК 669.2:000.57

А. А. Фадеева, Н. Б. Лошкарев

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПЕРЕВОДА ОТОПЛЕНИЯ МЕТОДИЧЕСКОЙ ПЕЧИ №3 НЛМК НА ПРИРОДНЫЙ ГАЗ

Аннотация

Цель работы – произвести расчеты, необходимые для перевода отопления металлургической печи №3 на Новолипецком металлургическом комбинате со смеси природного и доменного газов, на отопление природным газом. Для этого потребовалось разработать методики расчета сопел горелок и пересчет труб Вентури, произвести расчет горения топлива, а также произвести расчет расходов при действующих на настоящий момент горелках. Поставленную задачу необходимо достичь с минимальными затратами на реконструкцию печи. Перевод отопления печи на природный газ связан с трудностями на комбинате с поставкой коксового газа. Кроме того, природный газ имеет в два раза большую теплотворную способность, благодаря чему количество газа для отопления уменьшится также почти в двое.

Ключевые слова: металлургическая печь, нагрев металла, горелка, труба Вентури, топливо, природный газ.

Abstract

The purpose of this work to make calculations necessary for the translation of heating of the metallurgical furnace No. 3 on Novolipetsk Steel from mix of natural and domain gases, on heating by natural gas. For this purpose it was required to develop calculation procedures also recalculation of pipes of Venturi snuffled torches, to make calculation of burning of fuel and also to make calculation of expenses at the torches operating currently. The objective needs to be reached with the minimum costs of reconstruction of the furnace. Conversion of heating of the furnace to natural gas is connected with difficulties at plant with supply of coke gas. Besides, natural gas has twice big calorific ability thanks to what the amount of gas for heating will decrease also almost in two.

Key words: metallurgical furnace, metal heating, burner, Venturi pipe, fuel, natural gas.

Объектом работы является методическая печь №3 с шагающими балками Новолипецкого металлургического комбината. Данная печь имеет 11 технологических зон. На данный момент эта печь отапливается смесью природного и доменного газов. На комбинате возникла проблема связанная со снижением производства и выработки доменного газа. Его перестало хватать для отопления печей. Поэтому была поставлена задача перевести отопление печи №3 НЛМК со смеси доменного и природного газов, на отопление природным газом. Решить поставленную задачу необходимо с минимальными затратами на реконструкцию печи.

В ходе расчетов стало понятно, что при переводе на природный газ, количество воздуха необходимо примерно такое же, как и при действующей системе отопления. Исходя из этого, воздушную часть, а именно воздухопроводы и вентиляторы, предполагается оставить прежними.

Низшая теплота сгорания природного газа почти в два раза больше низшей теплоты сгорания смеси доменного и природного газов. Согласно техническому заданию, 36 719 кДж/кг для природного газа, и 18841,5 кДж/кг для газовой смеси.

Так как природный газ более калорийный, то его расход на отопление будет примерно в 2 раза меньше, чем расход газовой смеси. Необходимо произвести пересчет сопел горелок, потому что расходы газа изменятся. При этом наружные корпуса горелок не меняются, соответственно, сохраняются все габаритные и присоединительные размеры горелок.

Для сохранения характеристик горения, тепловыделения и теплообмена при расчете газовых сопел горелок необходимо принять за основу принцип равенства тепловых мощностей и сохранения кинетических энергий газовых потоков (в этом случае большее влияние оказывает скоростной фактор, что будет сохранять прежним режимы движения на выходе из горелки).

Кинетическая энергия потоков на выходе из сопел равна:

$$K = \frac{m \cdot v^2}{2},$$

где m – масса, кг; v – скорость, м/с.

Для расчета проходных сечений горелок при переходе с природно-доменного газа на природный, руководствуемся следующим:

1) равенство кинетических энергий газовых потоков

$$m_1 \cdot v_1^2 = m_2 \cdot v_2^2, \quad (1)$$

где m_1, v_1 – массовый расход и скорость струи природно-доменного газа, кг/с и м/с соответственно; m_2, v_2 – массовый расход и скорость струи природного газа, кг/с и м/с;

2) равенство тепловыделений соответственно при сжигании природно-доменного газа (индекс – 1) и природного газа (индекс – 2)

$$Q_1 = Q_2, \quad (2)$$

3) общая тепловая мощность определяется одной горелки может быть определена как, кВт:

$$Q = V_{\Gamma} \cdot Q_{\text{H}}^{\text{c}}, \quad (3)$$

где V_{Γ} – объемный расход сжигаемого газа, м³/с; Q_{H}^{c} – низшая теплота сгорания газа, МДж/м³;

4) Секундный массовый расхода газа можно найти по формуле:

$$m_{\Gamma} = V_{\Gamma} \cdot \rho_{\Gamma}, \quad (4)$$

где V_{Γ} – объемный расход сжигаемого газа, м³/ч; ρ_{Γ} – плотность, кг/м³;

5) выражение скорости газа на выходе из газового сопла примет такой вид:

$$v_{\Gamma} = \frac{V_{\Gamma}}{F_{\text{c}}} = \frac{V_{\Gamma}}{0,785 \cdot d_{\text{c}}^2}, \quad (5)$$

где V_{Γ} – объемный расход сжигаемого газа, м³/с, d_{c} – диаметр сопла, м².

Отсюда можно выразить расход природного газа через расход природно-доменной смеси

$$V_1 \cdot Q_{\text{H1}}^{\text{c}} = V_2 \cdot Q_{\text{H2}}^{\text{c}},$$

$$V_2 = \frac{V_1 \cdot Q_{H1}^c}{Q_{H2}^c} = V_1 \cdot \frac{Q_{H1}^c}{Q_{H2}^c}, \quad (6)$$

где Q_{H1}^c – низшая теплота сгорания газовой смеси, МДж/м³, Q_{H2}^c – низшая теплота сгорания газа, МДж/м³, V_1 – расход сжигаемого газовой смеси, м³/с, V_2 – объемный расход сжигаемого газа, м³/с;

б) с учетом выражений (4) и (5) уравнение (6) примет вид:

$$V_1 \cdot \rho_1 \cdot \frac{V_1^2}{0,785^2 \cdot (d_1^2)^2} = V_2 \cdot \rho_2 \cdot \frac{V_2^2}{0,785^2 \cdot (d_2^2)^2}, \quad (7)$$

где V_1 – расход сжигаемого газовой смеси, м³/с; V_2 – объемный расход сжигаемого газа, м³/с; ρ_{Γ_1} – плотность газовой смеси, кг/м³; ρ_{Γ_2} – плотность природного газа, кг/м³; d_1 – диаметр сопла исходный, м²; d_2 – диаметр сопла проектируемый, м².

Решая уравнение (7), получим выражение для определения диаметра d_2 (диаметр сопла газовой вставки горелки):

$$d_2 = d_1 \cdot \sqrt[4]{\frac{\rho_2}{\rho_1}} \cdot \sqrt[4]{\left(\frac{Q_{H1}^c}{Q_{H2}^c}\right)^3}, \quad (8)$$

где d_1 – диаметр сопла исходный, м²; d_2 – диаметр сопла проектируемый, м²; ρ_{Γ_1} – плотность газовой смеси, кг/м³; ρ_{Γ_2} – плотность природного газа, кг/м³; Q_{H1}^c – низшая теплота сгорания газовой смеси, МДж/м³; Q_{H2}^c – низшая теплота сгорания газа, МДж/м³.

| № зоны | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9, 10 | 11 |
|-------------------------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|--------|
| Существующий диаметр, м | 0,0889 | 0,0424 | 0,089 | 0,077 | 0,089 | 0,077 | 0,0603 | 0,0603 | 0,034 | 0,0603 |
| Расчетный диаметр, м | 0,047 | 0,022 | 0,047 | 0,041 | 0,047 | 0,041 | 0,032 | 0,032 | 0,018 | 0,032 |

По итогам расчетов, диаметры сопел горелок уменьшились, что объясняется высокой теплотой сгорания природного газа.

Исходя из того, что было принято решение сохранить прежнюю тепловую мощность, нам необходимо изменить систему измерения топлива, состоящую из труб Вентури. Трубы Вентури расположены по одной штуке в каждой зоне и останутся такие же, как установлены сейчас, но с другими размерами. За основу

расчетов берем действующие трубы Вентури и соотношения скоростей в них. Также, в ходе расчетов будут сохранены отношения сечений. Это позволит сохранить перепад давлений на том же уровне, как и до пересчета труб Вентури. После пересчета размеров будет необходима переградуировка труб.

Пересчет будем вести по приведенной ниже методике:

$$P_{ст}^1 + P_{д}^1 = P_{ст}^2 + P_{д}^2 + P_{пот}, \quad (9)$$

где $P_{ст}^1$ – статическое давление в широком сечении трубы, Па;

$P_{д}^1$ – динамическое давление в широком сечении трубы, Па;

$P_{ст}^2$ – статическое давление в узком сечении трубы, Па;

$P_{д}^2$ – динамическое давление в узком сечении трубы, Па;

$P_{пот}$ – потери давления, Па;

$$P_{д} = \frac{W^2 * \rho}{2}, \quad (10)$$

где $P_{д}$ – динамическое давление, Па; w – скорость течения в трубе, $\frac{м}{с}$; ρ – плотность среды, $\frac{кг}{м^3}$;

$$W^1 = \frac{V}{F^1}, \quad (11)$$

где w – скорость движения в трубе, м/с; V – расход на зоне, $м^3/ч$; F – площадь сечения, $м^2$;

$$F^1 = 0.785 * D^2, \quad (12)$$

где F – площадь сечения, $м^2$; D – диаметр широкого места трубы, м; 0,785 – рассчитанное значение выражения $\pi/4$.

$$P_{дин}^1 = \frac{(V * F^1)^2 * \rho}{2}, \quad (13)$$

где $P_{д}$ – динамическое давление, Па; V – расход на зоне, $м^3/ч$; F – площадь сечения, $м^2$; ρ – плотность среды, $\frac{кг}{м^3}$;

$$P_{ст}^1 + \frac{(V * F^1)^2 * \rho}{2} = P_{ст}^2 + \frac{(V * F^2)^2 * \rho}{2} + P_{пот}, \quad (14)$$

где $P_{ст}^1$ – статическое давление в широком сечении трубы, Па;

$P_{ст}^2$ – статическое давление в широком сечении трубы, Па;

$P_{пот}$ – потери давления, Па; V – расход на зону, $м^3/ч$; F – площадь сечения, $м^2$;

ρ – плотность среды, $\frac{кг}{м^3}$;

$$V^2 = \frac{\Delta P + P_{пот} * W^2}{\frac{F^1^2}{2} * \rho - \frac{F^2^2}{2} * \rho}, \quad (15)$$

$$P_{пот} = \zeta * \frac{w^2 * \rho}{2}, \quad (16)$$

где w – скорость движения в трубе, м/с; ρ – плотность среды, $\frac{кг}{м^3}$; ζ – коэффициент местного сопротивления.

По результатам расчетов диаметры уменьшились. Результаты приведены в таблице.

| № зоны | 1 | 2 | 4 | 5 | 6 | 10 | 11 |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| D | 0,339 | 0,388 | 0,339 | 0,309 | 0,339 | 0,159 | 0,131 |
| d | 0,204 | 0,229 | 0,210 | 0,176 | 0,197 | 0,086 | 0,070 |

| № зоны | 1 | 2 | 4 | 5 | 6 | 10 | 11 |
|--------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|
| Fб | 0,09 | 0,1182 | 0,09 | 0,075 | 0,090 | 0,0198 | 0,0135 |
| Fм | 0,0033 | 0,0412 | 0,034 | 0,024 | 0,0304 | 0,0058 | 0,0038 |

После расчетов труб Вентури необходимо сделать и испытать трубу, выдает ли она прежние перепады давлений. Этим в России занимаются надзорные органы.

В ходе проделанной работы, можно сделать вывод, что перевод отопления металлургической печи со смеси доменного и природного разов на отопление природным газом вполне реализуемая задача. Данную задачу можно решить минимальными затратами на реконструкцию печи.

УДК 669.046.5

А. В. Феокистов, С. В. Морин, С. А. Бедарев, С. А. Казимиров, М. В. Темлянецв

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк, Россия

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНОЙ ДЕТЕРМИНИРОВАННОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ПЛАВКИ МАТЕРИАЛОВ В ТВЕРДОТОПЛИВНОЙ НИЗКОШАХТНОЙ ПЕЧИ

Аннотация

Разработанная ранее математическая модель процесса выплавки чугуна и силикатных материалов прошла настройку и верификацию с учетом требований по интенсификации процесса и использованием результатов промышленных экспериментов по выплавке чугуна в низкошахтных печах с применением дутья, обогащенного кислородом. В существующую модель были включены дополнительно три блока, учитывающие расчет скорости движения и времени горения угольных частиц, расчет кислородной зоны и окислительно-восстановительной зоны. Погрешность расчета температуры чугуна не превышает ± 12 °С. Принимая во внимание комплексность математической модели, возможность учета взаимосвязи факторов и процессов, имеющих различную физическую природу, а также ее область применения и назначение, модель признана достоверной, а ее точность удовлетворительной для прогнозных и инженерных расчетов.

Ключевые слова: низкошахтные печи, математическая модель, плавка чугуна, интенсификация процесса плавки, обогащение дутья кислородом.

Abstract

The previously developed mathematical model of the smelting process for cast iron and silicate materials was customized and verified taking into account the requirements for intensifying the process and using the results of industrial experiments on smelting pig iron in low-ash furnaces using oxygen-blown blasting. Three blocks were added to the existing model, considering the calculation of the speed of movement and the burning time of coal particles, calculation of the oxygen zone and the redox zone. The error in calculating cast iron temperature does not exceed ± 12 °C. Taking into account the complexity of the mathematical model, the possibility of consideration the interconnection of factors and processes having different physical origin, as well as its scope and