

МЕТАЛЛУРГИЯ ЧЕРНЫХ, ЦВЕТНЫХ И РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ

УДК 669.162.22-52

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСХОДА ГОРЯЧЕГО ДУТЬЯ НА ОТДЕЛЬНО ВЗЯТУЮ ФУРМУ В ГОРНЕ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

Дружков В.Г., Ширшов М.Ю., Прохоров И.Е.

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия

Аннотация. Рассмотрена значимость контроля и наличие достоверной информации о расходе дутья по фурмам доменной печи. Обобщены различные методы определения расхода горячего дутья на отдельно взятую фурму, применявшиеся в доменном производстве с 30-х годов XX века, а также представлена их классификация. Значительный практический интерес в настоящее время и в будущем представляют расходомеры без ввода измеряющего устройства в поток дутья. Предлагается использовать такие измерительные устройства в системах автоматического распределения дутья (САРД) по фурмам нового поколения.

Ключевые слова: неравномерность распределения дутья по фурмам, дутьевой режим, расход горячего дутья по фурмам, расходомеры, классификация измерительных устройств, система автоматического распределения дутья по фурмам, отбор статического давления на диффузоре, кольцевой воздухопровод, калориметр, САРД нового поколения.

Введение

Неравномерность распределения дутья по фурмам доменной печи вызвана следующими причинами: односторонний подвод горячего дутья к кольцевому воздухопроводу, подвод дутья к кольцевому воздухопроводу в двух местах, разная газопроницаемость материалов в надфурменных зонах, геометрия фурменных рукавов и т.д. [1–3].

Для эффективного управления доменным процессом необходимо установить параметры дутьевого режима. Расход дутья – основной показатель дутьевого режима, который определяет нормальную работу печи и служит для управления ходом печи «снизу». Отсюда следует реальная значимость контроля расхода дутья по фурмам [4]. Наличие достоверной информации о расходе дутья, подаваемого через каждую фурму доменной печи, позволяет организовать оперативный технологический контроль за равномерностью его поступления по окружности печи и осуществлять управление технологическим состоянием доменной плавки за счет выравнивания или установки заданного соотношения дутье–топливная добавка [4, 5].

Основная часть

К расходомерам предъявляются требования, удовлетворить которые совместно достаточно сложно и не всегда возможно: высокая точность измерения, надежность, быстродействие, независимость результатов измерения от изменения среды.

Чаще всего в промышленности расход жидкостей и газов замеряется с помощью расходомеров переменного перепада давления, основанных на соотношении расхода и перепада давления. В зависимости от принципа действия расходомеры подразделяются на следующие категории: с сужающими устройствами (стандартные диафрагмы, сопло Лаваля, труба Вентури), центробежные (колесо, кольцевой участок трубы), с напорными устройствами (трубка Пито и отбор статического давления, преобразователь с дифференциальной трубкой Пито, напорное поворотное крыло с двумя отверстиями)[6]. На **рис. 1** представлена классификация измерительных устройств.

На доменных печах измерительные устройства можно классифицировать следующим образом:

– **устанавливаемые внутри фурменных приборов.** К ним относятся шайбы, сопла, напорные трубки Пито и др [1, 4, 7, 8]. При эксплуатации этих расходомеров выявились следующие недостатки: увеличение сопротивления прохождению дутья в фурменном приборе, при

недостаточной мощности воздуходувок это приводило к снижению производительности доменной печи и эффективности внедрения систем автоматического распределения дутья по фурмам (САРД); выход из строя расходомеров вследствие резкого повышения температуры окружающей среды при горении отсасываемых из печи горновых газов во время остановок доменной печи со взятием ее «на тягу»; изменение сечения сужающих устройств из-за абразивного действия частиц пыли и др.;

– без ввода измеряющего устройства в поток дутья. Работы в этом направлении начались после того, как группа исследователей под руководством М.А. Стефановича предложила определять расход дутья по фурмам, используя значение перепада давлений его в диффузоре фурменного прибора как местном сопротивлении [9, 10]. Такой метод измерения и развитие его представляет значительный практический интерес в настоящее время и в будущем.

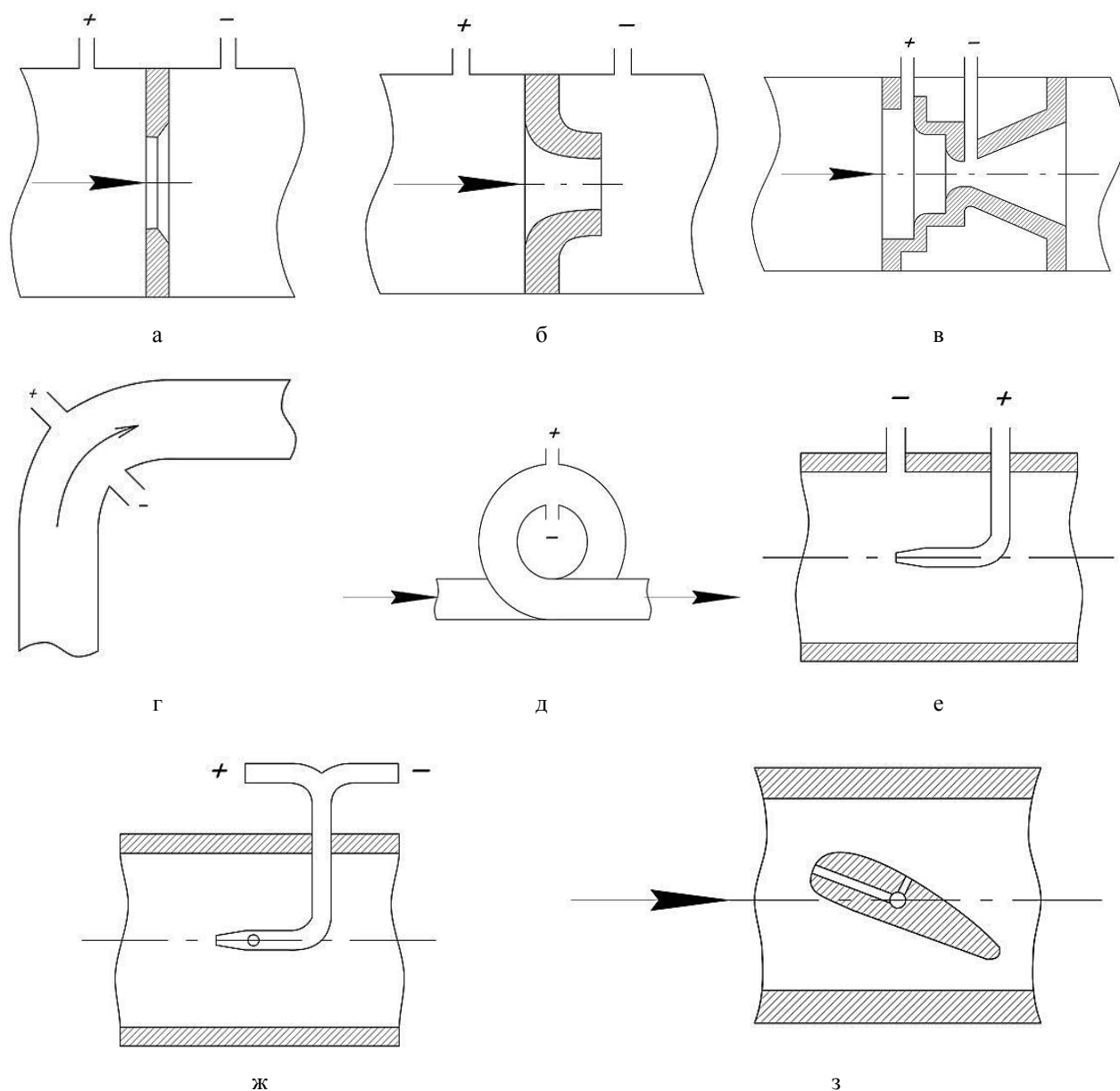


Рис. 1. Расходомеры переменного перепада давления:
 а – стандартная диафрагма; б – сопло Лаваля; в – труба Вентури; г – колено;
 д – кольцевой участок трубы; е – трубка Пито и отбор статического давления;
 ж – преобразователь с дифференциальной трубкой Пито;
 з – напорное поворотное крыло с двумя отверстиями

Рассмотрим более подробно использование измерительных устройств в различные периоды времени.

В 1930-х годах в СССР применялся ряд общепринятых методов измерения количества горячего дутья. Уже тогда считалось, что более совершенным способом является непосредственное измерение количества дутья, поступающего в доменную печь, что позволит быстро устранять недостатки в ходе печи.

Так, З.И. Некрасов в 1935 году на печи № 2 Днепропетровского завода металлургического оборудования применил разрезное сопло, в которое было вставлена стандартная диафрагма. Обслуживание такой фурмы практически было неудобно. Особенно затруднения возникали при смене фурм, когда приходилось отключать от шайбы напорные трубки. В сопла очень часто попадал шлак, который сильно искажал показания прибора [11].

Установка диафрагмы требует определенных условий, особенно наличия прямых участков воздухопровода до и после диафрагмы. На всех печах завода Rochling в 1935 году было использовано то обстоятельство, что кольцевой воздухопровод был выше оси фурм почти на 6 м. Вследствие этого между кольцевым воздухопроводом и фурменным рукавом имелся вертикальный прямолинейный участок длиной 3960 мм, в который и была установлена диафрагма [11].

В 1937 году появилось предложение о применении в качестве измерительного устройства сопла Вентури, рассчитанного для конкретных условий доменной печи № 3 Днепропетровского металлургического комбината (рис. 2) [11].

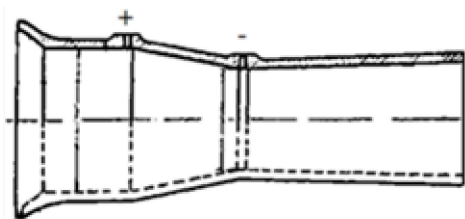


Рис. 2. Сопло Вентури

В 1938 году А.Н. Похвиснев, С.К. Трекало, Г.А. Воловик провели ряд исследований на доменной печи № 1 Запорожстали, целью которых было выяснить: количество дутья, поступающего на каждую фурму, а также возможность применения простейших в практическом обслуживании измерительных устройств. В качестве измерительного устройства была выбрана диафрагма, которая устанавливалась между фланцем подвижного колена и фланцем с шаровой

заточкой, центрирующим сопло. Температура дутья при этом достигала 800°C [12].

В 1946 году на доменной печи №4 Кузнецкого металлургического комбината применялся метод измерения количества воздуха, поступающего через каждую фурму с использованием напорной трубки, изображенной на рис. 3. Систематическое измерение перепадов давлений по фурмам позволило определить количество воздуха, поступающего через каждый фурменный прибор [13].

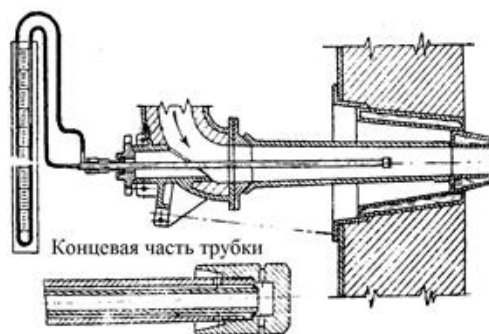


Рис. 3. Трубка для измерения динамического напора в фурме [13]

В ноябре 1961 года на доменной печи Кузнецкого металлургического комбината была внедрена система автоматического регулирования распределения дутья по фурмам (рис. 4). В качестве органов контроля применены неохлаждаемые укороченные измерительные сопла, выполненные из жаропрочной стали. Они размещались на границе диффузора и вертикального патрубка. Такие измерительные устройства надежно работали при температуре горячего дутья до 1050°C [15,16].

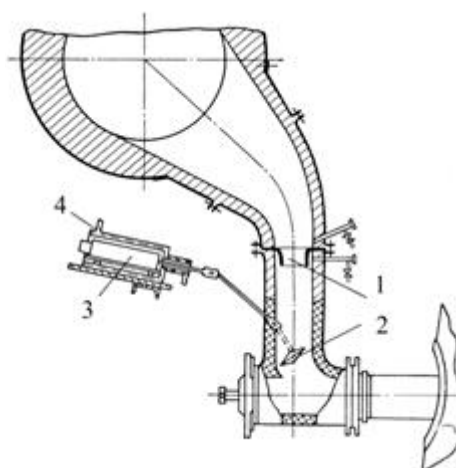


Рис. 4. Система автоматического распределения дутья по фурмам [15]: 1 – измерительное сопло; 2 – мотыльковый клапан; 3 – привод; 4 – водоохлаждаемый кожух

Аналогичная конструкция САРД была введена на доменной печи Макеевского металлургического завода в декабре 1963 года [15, 17, 18].

В 1965 году проведены испытания пневмометров крыловидного профиля на доменной печи № 1 Новолипецкого металлургического завода (см. рис. 1, з) [19].

В 1969 году на Магнитогорском металлургическом комбинате исследованы измерительные устройства с целью определения их характеристик и возможности устойчивой работы в окислительной атмосфере. Применялись измерительные устройства – укороченные сопла Вентури, нестандартные сопла с профилем кривизны в четверть круга (сопло «четверть круга») и неподвижного фурменного сопла. Исследование позволило правильно выбрать места отбора для измерения перепадов давлений, обеспечивающих максимальную величину перепадов при минимальных гидравлических потерях на измерительном органе [9, 10]. С этой точки зрения наилучшие результаты дал способ измерения перепада давлений на (диффузоре) неподвижном колене фурменного прибора. Данный метод измерения расхода дутья представлен на рис. 5.

Расход дутья на n-фурме рассчитывался по формуле [9, 10]

$$Q_n = k\sqrt{\Delta h_n}, \quad (1)$$

где Δh_n – перепад на фурменном колене (диффузоре) n-й фурмы; Q_n – расход дутья, м³/мин на n-й фурме; k – коэффициент, определяемый по формуле

$$k = \frac{Q_D}{\sum_{i=1}^n \sqrt{\Delta h_i}}, \quad (2)$$

где Q_D – суммарный расход дутья на печь, м³/мин.

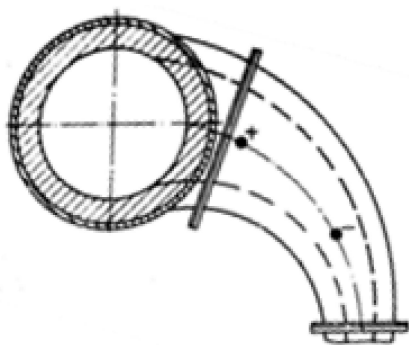


Рис. 5. Места отбора статического давления на диффузоре фурменного прибора [9, 10]

Такой метод перспективен. Есть уже разработки совершенствования его: Δp на фурменном приборе замеряется в доменном цехе ОАО «ММК» по формуле

$$\Delta p_i = p_{z.d} - p_i,$$

где Δp_i – перепад давления на n-й фурме;

$p_{z.d}$ – давление горячего дутья около места врезки прямого воздухопровода горячего дутья в кольцевой; p_i – давление горячего дутья на n-й фурме.

Это позволило уменьшить количество мест отбора импульсов.

В 1989 году на доменной печи № 1 металлургического комбината «Криворожсталь» проводились экспериментальные исследования с целью оценки окружного газораспределения. Печь была снабжена устройствами для измерения перепадов давления между фурменными рукавами и определенными (четырьмя) точками кольцевого воздухопровода, изображенными на рис. 6, которые соединялись с дифманометрами [20]. Благодаря такому отбору статического давления повысилась точность Δp_i .

Опыт технологов-доменщиков Западно-Сибирского и Новолипецкого металлургических комбинатов (ЗСМК и НЛМК) показал повышение точности замеров расходов дутья на каждую фурму с увеличением диаметра трубок в местах отбора импульса с 0,5 до 1 дюйма.

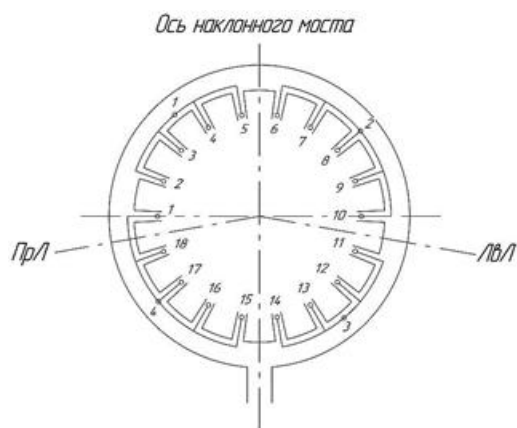


Рис. 6. Расположение и увязка отборов статического давления на кольцевом воздухопроводе и воздушных фурм доменной печи №1 «Криворожстали» [20]: ПрЛ, ЛвЛ – ось правой и левой чугунных леток; 1, 2 ... 18 – отборы статического давления на растробе фурменных приборов; 1, 2, 3, 4 – отборы статического давления на кольцевом воздухопроводе горячего дутья

В 1995 году разработан принципиально новый метод бесконтактного измерения расхода горячего дутья по фурмам, сущность которого заключается в использовании охлаждаемой головки сопла в качестве калориметра. Экспериментальное опробование этого метода осуществлено на доменной печи № 4 комбината Азовсталь, показав хорошую результативность. Позднее этот метод прошел апробацию на доменных печах Алчевского, Череповецкого, Криворожского комбинатов, заводов Енакиевского и «Тулачермет», показав положительный результат. Преимуществом этого метода, является более низкий уровень капитальных затрат технического исполнения системы контроля, более высокая эксплуатационная надежность датчиков системы измерения. К недостаткам относятся инерционность системы и возможность применения лишь при наличии на доменной печи водяного охлаждения сопел фурменных приборов [21].

Заключение

После 1969 года метод измерения расхода горячего дутья на каждую фурму без ввода устройства внутрь фурменного прибора оказался самым надежным и эффективным. Он способствует снижению сопротивления прохождению дутья и заслуживает дальнейшего развития в системах САРД [22] нового поколения. Основные пути совершенствования:

- выявить рациональные места отбора импульса для определения расхода дутья на фурму;
- учитывать опыт технологов-доменщиков ЗСМК и НЛМК;
- регулярно корректировать коэффициенты (ф-лы (1) и (2)).

Список литературы

1. Необходимость и возможность оснащения современных доменных печей системами автоматического распределения дутья нового поколения / Дружков В.Г., Ваганов А.И., Прохоров И.Е., Ширшов М.Ю. // Теплофизика и информатика в образовании, науке и производстве: сборник докладов II Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (ТИМ ` 2013) с международным участием. Екатеринбург: УрФУ, 2013. С. 182–184.
2. Дружков В.Г., Ширшов М.Ю. Влияние распределения дутья по фурмам на работу доменных печей // Наука и производство Урала: научно-технический и производственный журнал. Новотроицк: Изд-во НФ НИТУ «МИСиС», 2014. Вып.10. С. 21–23.
3. Дружков В.Г., Ширшов М.Ю. Причины неравномерного распределения дутья по фурмам доменных печей и необходимость оснащения их САРД нового поколения // Теория и технология металлургического производства. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2014. №1. С. 27–31.
4. Исследование особенностей распределения дутья по фурмам доменной печи объемом 1719 м³ комбината «Криворожсталь» / И.Г. Резницкий, С.Н. Лукьянец, А.П. Монаршук и др. // Изв. вузов. Черная металлургия. 1990. №2. С. 7–10.
5. Товаровский И.Г., Мирошниченко Б.И., Лукьянец С.Н. Принцип контроля расхода горячего дутья по фурмам доменной печи // Вопросы производства чугуна в доменных печах: тематический отраслевой сборник. М., 1984. С. 52–56.
6. Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества: справочник. 4-е изд., перераб. и доп. Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1989. 701 с.
7. Тарасов В.П. Газодинамика доменного процесса. М.: Металлургия, 1982. 222 с.
8. Бугаев К.М. Распределение газов в доменных печах. М.: Металлургия, 1974. 176 с.
9. Разработка и внедрение системы автоматического распределения дутья по фурмам / Н.Н. Сажнев, Н.И. Иванов, М.А. Стефанович и др. // Вопросы теплотехники и автоматизации металлургического производства: сб. науч. тр. / МГМИ им. Г.И. Носова. Магнитогорск, 1970. Вып. 76. С. 4–9.
10. Сажнев Н.Н. Система автоматического распределения дутья по фурмам доменной печи // Бюллетень ЦИИИ. 1969. №13. С. 39–40.
11. Похвиснев А.Н., Трекало С.К., Воскобойников В.Г. Использование показаний контрольно-измерительных приборов у доменной печи для установления оптимального режима // Теория и практика металлургии. 1937. №6. С. 19–29.
12. Похвиснев А.Н., Трекало С.К., Воловик Г.А. Распределение дутья по фурмам доменной печи № 1 Запорожстали // Теория и практика металлургии. 1938. № 5. С. 3–12.
13. Редько А.Н. Метод регулирования хода доменных печей // Сталь. 1946. №3. С. 145–149.
14. Стефанович М.А. Влияние распределения дутья по фурмам на работу доменной печи // Сталь. 1949. №6. С. 435–503.
15. Гиммельфарб А.А., Ефименко Г.Г. Автоматическое управление доменным процессом. М.: Металлургия, 1960. 309 с.
16. Автоматическое регулирование распределения дутья по фурмам доменной печи Кузнецкого металлургического комбината / Б.Н. Жеребин, В.А. Хромов, П.П. Мишин и др. // Сталь. 1964. №4. С. 292–296.
17. Анализ работы доменной печи при автоматическом регулировании дутья по воздушным фурмам / Г.Е. Сенько, В.Н. Оноприенко, А.П. Царицын и др. // Сталь. 1965. №7. С. 590–593.
18. Работа доменной печи при автоматическом регулировании распределении дутья / Г.И. Чернов, Н.А. Евдокимов, Е.В. Мусэрский и др. // Металлург. 1965. №4. С. 8–10.
19. Довгаль А.М., Дуда Г.Д., Сокур Н.П. Формирование «главного импульса» САР распределения дутья по фурмам доменной печи // Автоматизация агломерационного и доменного производства. К.: Тэхника, 1969. С. 155–168.
20. Экспериментальное исследование распределения дутья и природного газа по воздушным фурмам / С.Н. Лукьянец, М.Т. Бузверва, С.Т. Шулико и др. // Металлургическая и горнорудная промышленность. 1991. №1. С. 9–12.
21. Автоматизированная система контроля расхода дутья по воздушным фурмам доменной печи / Н.М. Можаренко, В.В. Канаев, А.А. Параносенков, Г.В. Панчоха, Г.И. Орел, В.С. Листопадов, К.А. Дмитренко // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии: сб. науч. тр. Днепропетровск: ИЧМ НАН України, 2005. Вип. 11. С. 34–42.
22. Результаты оценки равномерности распределения дутья по фурмам доменных печей / Ширшов М.Ю., Дружков В.Г., Павлов А.В., Прохоров И.Е. // Теория и технология металлургического производства. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2014. № 2. С. 27–31.

TECHNIQUES FOR MEASUREMENT OF A HOT BLAST VOLUME PER TUYERE IN A BLAST FURNACE HEARTH

Druzhkov Vitaly Gavrilovich – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. Phone: +7 (3519) 298 430.

Shirshov Mikhail Yurievich – Postgraduate Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: shirshov1989@mail.ru.

Prokhorov Ivan Evgenievich – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

Abstract. This paper focuses on control and availability of reliable information about a hot blast volume in tuyeres of a blast furnace. The authors generalized various techniques for measurement of a hot blast volume per tuyere, applied for blast furnaces starting from the 1930's, and presented their classification. Flow rate meters, requiring no input of a measuring device into a blast flow, are of considerable practical interest at present and in future. It is proposed to use such measuring devices in systems of automatic distribution of blast (SADB) in tuyeres of a new generation.

Keywords: Unsteady distribution of blast in tuyeres, blast mode, hot blast flow rate in tuyeres, flow rate meters, classification of measuring devices, system of automatic distribution of blast (SADB) in tuyeres, static pressure tap in a diffuser, hot-blast circulating duct, calorimeter, SADB of a new generation.

References

1. Druzhkov V.G., Vaganov A.I., Prohorov I.E., Shirshov M.Yu. Neobходимость i возможность osnashcheniya sovremennykh domennykh pechey sistemami avtomaticheskogo raspredeleniya dutiya novogo pokoleniya [Need and possibility of equipping modern blast furnaces with automatic distribution systems of blasting of a new generation]. *Teplofizika i informatika v obrazovanii, nauke i proizvodstve* [Thermophysics and informatics in education, science and production: collection of papers of the 2nd All-Russian Scientific and Practical Conference of Students, PhD Students and Young Scientists (TIM'2013), including international participants]. Ekaterinburg: UrFU, 2013, pp. 182-184.
2. Druzhkov V.G., Shirshov M.Yu. Vliyaniye raspredeleniya dutiya po furmam na rabotu domennykh pechey [Effect of distribution of blast among tuyeres on performance of blast furnaces]. *Nauka i proizvodstvo Urala* [Science and production of the Urals]. Novotroitsk: the Novotroitsk branch of Moscow Institute of Steel and Alloys National University of Science and Technology, 2014, no. 10, pp. 21-23.
3. Druzhkov V.G., Shirshov M.Yu. Reasons for non-uniform distribution of blast among tuyeres of blast furnaces and a need for equipping them with automatic distribution systems of blasting of a new generation. *Teoriya i tekhnologiya metallurgicheskogo proizvodstva* [Theory and technology of metallurgical facilities]. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2014, no. 1, pp. 27-31.
4. Reznitskiy I.G., Lukyanets S.N., Monarshuk A.P., et al. Study of distribution of blast among tuyeres of a 1719 m³ blast furnace at Krivorozhstal works. *Izvestiya vuzov. Chernaya metallurgiya* [News of universities. Ferrous metallurgy], 1990, no. 2, pp. 7-10.
5. Tovarovskiy I.G., Miroshnichenko B.I., Lukyanets S.N. Printsip kontrolya rashhoda goryachego dutiya po furmam domennykh pechi. [A concept of hot blast flow rate control in tuyeres of a blast furnace]. *Voprosy proizvodstva chuguna v domennykh pechakh* [Issues of pig iron production in blast furnaces: a subject branch collection]. Moscow: Metallurgy, 1984, pp. 52-56.
6. Kremlevskiy P.P. *Rashhodomery i schetchiki kolichestva* [Flow rate meters and quantity counters: a reference book.]. The 4th edition: revised and enlarged. Leningrad: Mechanical Engineering, 1989, 701 p.
7. Tarasov V.P. *Gazodinamika domennogo protsessa* [Gas dynamics of a blast furnace process]. Moscow: Metallurgy, 1982, 222 p.
8. Bugaev K.M. *Raspredelenie gazov v domennykh pechakh* [Distribution of gases in blast furnaces]. Moscow: Metallurgy, 1974, 176 p.
9. Sazhnev N.N., Ivanov N.I., Stefanovich M.A., et al. Razrabotka i vnedrenie sistemy avtomaticheskogo raspredeleniya dutiya po furmam [Development and introduction of a system of automatic distribution of blast among tuyeres]. *Voprosy teplotekhniki i avtomatizatsii metallurgicheskogo proizvodstva* [Issues of heat engineering and automation of metallurgical facilities: a collection of research papers of the Nosov Magnitogorsk Institute of Mining and Metallurgy]. Magnitogorsk: MGTU, 1970, no. 76, pp. 4-9.
10. Sazhnev N.N. Sistema avtomaticheskogo raspredeleniya dutiya po furmam domennykh pechi [A system of automatic distribution of blast among tuyeres of a blast furnace]. *Byulleten' TSIIIN* [Bulletin of TSIIIN], 1969, no. 13, pp.39-40.
11. Pokhvisnev A.N., Trekalo S.K., Voskoboinikov V.G. Ispolzovanie pokazaniy kontrolno-izmeritelnykh priborov u domennykh pechi dlya ustanovleniya optimalnogo rezhima [Use of blast furnace instrumentation readings to set an optimal mode]. *Teoriya i praktika metallurgii* [Theory and Practice of Metallurgy], 1937, no. 6, pp. 19-29.
12. Pokhvisnev A.N., Trekalo S.K., Volovik G.A. Raspredelenie dutiya po furmam domennykh pechi №1 Zaporozhstali [Distribution of blast among tuyeres of blast furnace no. 1 at Zaporozhstal works]. *Teoriya i praktika metallurgii* [Theory and Practice of Metallurgy], 1938, no. 5, pp. 3-12.
13. Redko A.N. Metod regulirovaniya khoda domennykh pechey [A method to control operation of blast furnaces]. *Stal'* [Steel], 1946, no. 3, pp. 145-149.
14. Stefanovich M.A. Vliyaniye raspredeleniya dutiya po furmam na rabotu domennykh pechi [Effect of distribution of blast among tuyeres on operation of a blast furnace]. *Stal'* [Steel], 1949, no. 6, pp. 435-503.
15. Gimmelfarb A.A., Efimenko G.G. *Avtomaticheskoe upravlenie domennym protsessom* [Automatic control of a blast furnace process]. Moscow: Metallurgy, 1960, 309 p.

16. Zherebin B.N., Khromov V.A., Mishin P.P., et al. Avtomaticheskoe regulirovanie raspredeleniya dutiya po furmam domennoy pechi Kuznetskogo metallurgicheskogo kombinata [Automatic control of distribution of blast among tuyeres of a blast furnace at the Kuznetsk Iron and Steel Works]. *Stal'* [Steel], 1964, no. 4, pp. 292-296.
17. Senko G.E., Onoprienko V.N., Tsaritsyn A.P., et al. Analiz raboty domennoy pechi pri avtomaticheskom regulirovanii dutiya po vozdushnym furmam [Blast furnace operation in automatic control of blast through air tuyeres]. *Stal'* [Steel], 1965, no. 7, pp. 590-593.
18. Chernov G.I., Evdokimov N.A., Muserskiy E.V., et al. Rabota domennoy pechi pri avtomaticheskom regulirovanii dutiya [Blast furnace operation in automatic control of blast]. *Metallurg* [Metallurg], 1965, no. 4, pp. 8-10.
19. Dovgal A.M., Duda G.D., Sokur N.P. Formirovanie «glavnogo impulsa» SAR raspredeleniya dutiya po furmam domennoy pechi [Formation of a "master pulse" of SADB in tuyeres of a blast furnace]. *Avtomatizatsiya aglomeratsionnogo i domennogo proizvodstva* [Automation of sintering and blast-furnace processes]. Kiev: Tekhnika, 1969, pp. 155-168.
20. Lukyanets S.N., Buzoverya M.T., Shuliko S.T., et al. Eksperimen-
- talnoe issledovanie raspredeleniya dutiya i prirodnogo gaza po vozdushnym furmam [Experimental studies of distribution of blast and natural gas among air tuyeres]. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'* [Metallurgical and Mining Industries], 1991, no. 1, pp. 9-12.
21. Mozharenko N.M., Kanaev V.V., Paranosenkov A.A., Panchokha G.V., Orel G.I., Listopadov V.S., Dmitrenko K.A. Avtomatizirovannaya sistema kontrolya raskhoda dutiya po vozdushnym furmam domennoy pechi [Automatic control system for distribution of blast among air tuyeres of a blast furnace]. *Fundamentalnye i prikladnye problemy chernoy metallurgii* [Fundamental and applied problems of an iron and steel industry]. Dnepropetrovsk: IChM NAN Ukraine, 2005, no.11, pp. 34-42.
22. Shirshov M.Yu., Druzhkov V.G., Pavlov A.V., Prokhorov I.E. Rezultaty otsenki ravnomernosti raspredeleniya dutiya po furmam domennykh pechey [Assessment of a uniform distribution of blast among tuyeres of blast furnaces]. *Teoriya i tekhnologiya metallurgicheskogo proizvodstva* [Theory and technology of metallurgical facilities]. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2014, no. 2, pp. 27-31.

Дружков В.Г., Ширшов М.Ю., Прохоров И.Е. Методы определения расхода горячего дутья на отдельно взятую фурму в горне доменной печи // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2015. №2. С. 21–27.

Druzhkov V.G., Shirshov M.Yu., Prokhorov I.E. Techniques for measurement of a hot blast volume per tuyere in a blast furnace hearth. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2015, no. 2, pp. 21–27.