

*An algorithm for calculating the set values of the water and air flow rates, depending on the crystallization of the ingot, which are transmitted to the automatic control system of the secondary cooling zone has been developed. Based on the proposed algorithm, software that allows to consider the current thermal state of the secondary cooling zone has been developed in an environment of object-oriented programming. In real time, the program receives the current values of the speed of drawing the ingot, the surface temperature of the ingot in front of the SCZ, the metal level in the mold. The values of static coefficients can be changed within certain limits. To verify the correctness of the calculation results, values corresponding to real production data were entered into the program.*

**Keywords:** *secondary cooling zone, automatic control system, continuous casting machine, ingot, crystallization, solidification, water-air mixture, algorithm, flowchart*

Рецензент к.т.н., доцент, Симкин А.И.

Статья поступила 14.11.2019

УДК 669.162.23-25

Койфман О.О., Кулик К.В., Сімкін О.І., Леонов І.О.

## СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО РОЗПОДІЛУ ГАРЯЧОГО ДУТТЯ ПО ФУРМАХ ДОМЕННОЇ ПЕЧІ

*У статті розглянуто актуальне питання про автоматичне регулювання розподілу дуття по фурмах доменної печі. Забезпечення рівномірного розподілу дуття по горну печі дозволяє вирівняти нагрів по його окружності, поліпшити розподіл газових потоків в стовпі шихтових матеріалів і повністю використовувати хімічну і теплову енергію газів. Дослідження існуючих систем розподілу дуття показали причини їх непрацездатності. Це викликано тим, що вимірювальне обладнання, регулюючі пристрої та виконавчі механізми не витримують високих температур. Як вирішення проблеми було запропоновано включити в розробку виконавчих механізмів вуглеволокно, що дозволить значно зменшити абразивний знос і підвищити стійкість до високих температур.*

*Була також розроблена система автоматичного регулювання розподілу дуття по кожній фурмі окремо. Витрата дуття в системі вимірюється за допомогою трубок Вентурі методом змінного перепаду. Регулювання в системі відбувається за допомогою посиленого вуглеволокном метеликового клапана, встановленого в рухомому коліні фурменого приладу після трубки Вентурі. У середовищі об'єктно-орієнтованого програмування було розроблено спеціальне програмне забезпечення для контролю процесу розподілу дуття по фурмам, рівномірного його розподілу і перерозподілу між усіма фурмами. Програма має можливість задавати загальні витрати та витрати на окремо взятую фурму.*

*Використання розробленої системи автоматичного розподілу дуття по фурмам дозволить забезпечити рівномірну подачу дуття в горн доменної печі через окремі фурми, що дозволить підняти продуктивність самої печі при зниженні витрати коксу.*

**Ключові слова:** *система автоматичного розподілу дуття, САРД, доменна піч, контроль, регулювання, фурми, дуття, модель, контролер, трубка Вентурі, метеликовий клапан*

### Постановка проблеми

Питанню про розподіл дуття по повітряним фурмам доменної печі в кількісному і якісному планах завжди надавалося велике значення. Актуальною проблемою є наявність нерівномірності в розподілі дуття в фурменій зоні доменній печі. Це перш за все пов'язано з

різною газопроникністю всіх матеріалів в надфурмених зонах; одностороннім підведенням гарячого дуття до кільцевого повітропроводу, а також геометрією фурмених рукавів.

Завданням регулювання розподілу гарячого дуття по фурмам є забезпечення рівномірного надходження дуття в горн доменної печі через окремі фурми, що сприяє вирівнюванню нагріву по колу горна, поліпшенню розподілу потоку газів в стовпі шихтових матеріалів і повнішому використанню хімічної і теплової енергії газів.

### **Аналіз останніх досліджень і публікацій**

В роботі [1] описана робота системи автоматичного регулювання розподілу дуття по фурмам з використанням пневматичної апаратури впроваджена на доменній печі Кузнецького металургійного комбінату з листопада 1961 р., використання якої забезпечило більш рівний хід доменної печі. У якості регулюючих органів в системі використовувались метеликові клапани і неохолоджувані укорочені вимірювальні сопла, виконані з жароміцної сталі. Обидва пристрої безперебійно працювали при температурі 1050 °С.

На основі виконаних досліджень було визначено, що хід печі в умовах автоматичного регулювання витрати повітря по фурмам відрізняється більшою стійкістю, що дозволяє дещо збільшити витрату дуття і за рахунок цього підвищити інтенсивність горіння вуглецю [2]. При автоматичному регулюванні розподілу витрат дуття, нерівномірність розподілу його по фурмам знизилася в 4 рази, а кінетична енергія по колу горна і швидкість вирівнялися. Також була покращена ступінь використання газового потоку, що посприяло зниженню температури кладки шахти.

Авторами роботи [3] запропоновано вимірювати витрату гарячого дуття в фурменому приладі за допомогою укороченого сопла Вентурі, а в якості регулюючих органів використовувати поворотні заслінки, вбудовані в фурмені рукава. Сформульовано комплексну задачу системи автоматичного розподілу дуття (САРД): система повинна забезпечити рівномірний або заданий розподіл дуття по фурмам доменної печі при мінімальному опорі повітряного тракту.

У статті [4] розглядаються системи автоматичного регулювання розподілу дуття по фурмам доменної печі з використанням вимірювального сопла і регулюючого дроселя. Експериментальне випробування методу контролю витрат дуття, заснованого на використанні в якості калориметра головки сопла було здійснено на ДП №4 комбінату «Азовсталь», показало хорошу результативність. Перевагами методу, безумовно, є більш висока надійність використаних датчиків вимірювання, менша складність експлуатування обладнання і більш низький рівень капітальних витрат.

В роботі [5] описується методика регулюванні розподілу дуття по колу доменної печі, яка в свою чергу здійснюють при відхиленні його витрати на окремих фурмах від середнього базового значення. В якості регулюючого органу використовують метеликовий клапан, який за допомогою виконавчого механізму в необхідний момент переміщається в потрібному напрямку до того, поки фактичні витрати дуття на даній фурмі не досягнуть заданого.

В роботі [6] автором узагальнюються причини нерівномірного розподілу дуття по фурмам доменних печей і результати впровадження САРД. У розробку системи входили такі пристрої, як: дросельні заслінки, що охолоджуються, регулюючі конуси, шибери. Під час експлуатації регулювання виконувалося за допомогою автоматизованого приводу.

Автори [7, 8] узагальнюють різні методи визначення витрати гарячого дуття на окрему взятую фурму, які застосовувалися, починаючи з 30-х років 20 століття. Запропоновано використовувати в системах розподілу дуття наступні вимірювальні пристрої: труба Вентурі, сопло Лавалля, трубка Піто, нерухоме фурмене сопло, сопло «чверть кола». Рекомендується віддавати перевагу використанню витратомірів змінного перепаду тиску. Був розроблений метод, завдяки якому можна безконтактно виміряти витрату гарячого дуття на фурмі з використанням охолоджуваної голівки фурми в якості калориметру. Також визначено, що

цей метод є одним з найбільш надійних через те, що пристрій не вбудований всередині фурменого приладу.

У статті [9] описується імовірно інноваційний метод для виконання та контролю витрати гарячого повітря в фурмах доменної печі. Як витратомір запропоновано використовувати вогнетривкі труби Вентурі, встановлені в рукавах фурм (рис. 1).

Автор [10] проводить дослідження характеру руху потоку дуття в водоохолоджуваних голівках сопел на холодній моделі фурменого приладу, а також на експериментальному соплі, яке було встановлено на доменну піч. Експериментальне сопло було обладнано штуцером і термopарою для вимірювання тиску дуття і температури відповідно. Крім цього, в експериментальне сопло встановлювалася водоохолоджувана перегородка, яка розміщувалася по вертикальному діаметру головки сопла і була оснащена п'ятьма імпульсними трубками для вимірювання повного тиску потоку дуття. За допомогою манометра вимірювався динамічний напір. Крім вимірювання в експериментальному соплі, одночасно проводилися виміри витрати і перепаду температур охолоджуючої води на всіх соплах фурмених приладів. В результаті дослідження, виконаними на холодних моделях фурмених приладів, а також в промислових умовах на доменній печі №5 МК «Азовсталь», встановили, що рух дуття в порожнині водоохолоджуваної голівки сопла має гідродинамічний стабілізований характер. За результатами дослідження уточнена формула для розрахунку витрати дуття на повітряні фурми доменних печей по тепловим навантаженням на водоохолоджувальну голівку сопла.

Автори статті [11] привели розроблену в ІЧМ нову методику визначення витрати дуття по фурмам, засновану на закономірностях теплообміну між дуттям і охолоджуючої водою в голівці сопла. Було отримано позитивний результат на технологічних випробуваннях САРД.

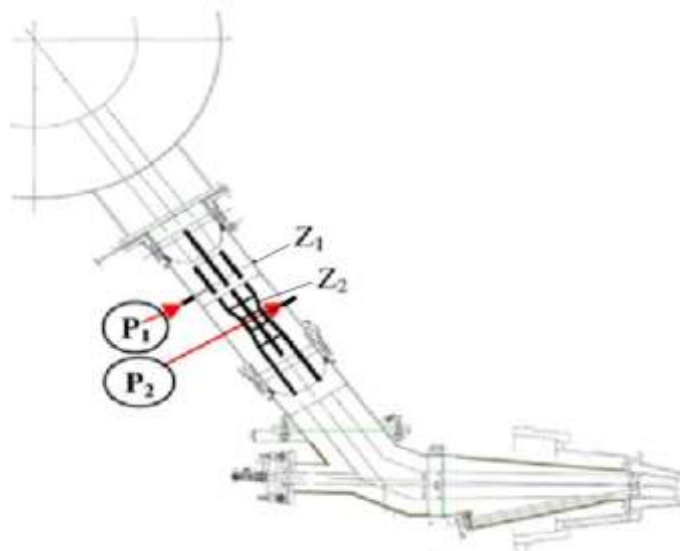


Рисунок 1 – Комплект обладнання для вимірювання витрати гарячого дуття з використанням трубки Вентурі:  $P_1$ ,  $P_2$  – тиск на початку трубки і в місці звуження відповідно, Па;  $Z_1$ ,  $Z_2$  – висота в точках 1 і 2 відповідно, м

Автор статті [12] пропонує нову методику визначення витрати дуття по фурмам, засновану на використанні теплової потужності потоку, що проходить через фурму, і значень знімання тепла з цієї фурми. В роботі показано, що гаряче дуття розподіляється по

повітряних фурмам доменної печі нерівномірно, воно визначається технологією доменної плавки і конструкцією повітропідвідного тракту.

На основі проведених експериментів було встановлено, що при нерівномірному розподілі дуття по фурмам для стабілізації теплового стану в фурмених осередках потрібне коригування витрати природного газу на кожну фурму для збереження теоретичної температури горіння на заданому рівні. Розроблена авторами методика дозволяє вибирати необхідне співвідношення витрат дуття і природного газу, встановлення якого дає можливість стабілізувати теоретичну температуру горіння фурмені вогнища на задається рівні.

**Мета дослідження.**

Розробка сучасної автоматизованої системи регулювання розподілу дуття по повітряним фурмам доменної печі, що забезпечує рівномірну подачу дуття по окружності горна.

**Основний матеріал дослідження.**

Об'єктом дослідження є фурмена зона діючої доменної печі, на якій гаряче дуття з температурою 1000-1200 °С подається через 18 фурм, які встановлені по окружності горну.

Для реалізації задачі автоматичного регулювання розподілу дуття на окремо взяту фурму знадобяться виконавчий механізм та витратомір, що витримують температуру дуття. Крім температурного критерію, необхідно враховувати можливість абразивного зносу обладнання. Під час зупинки печі і взяття її «на тягу», «гляделки» фурмених зон необхідно тримати закритими, щоб метеликові клапани не згорали від високих температур газів, що виходять з печі.

Всі фурми розробленої САДР обладнані автоматичним регулюванням витрати дуття (рис. 2).

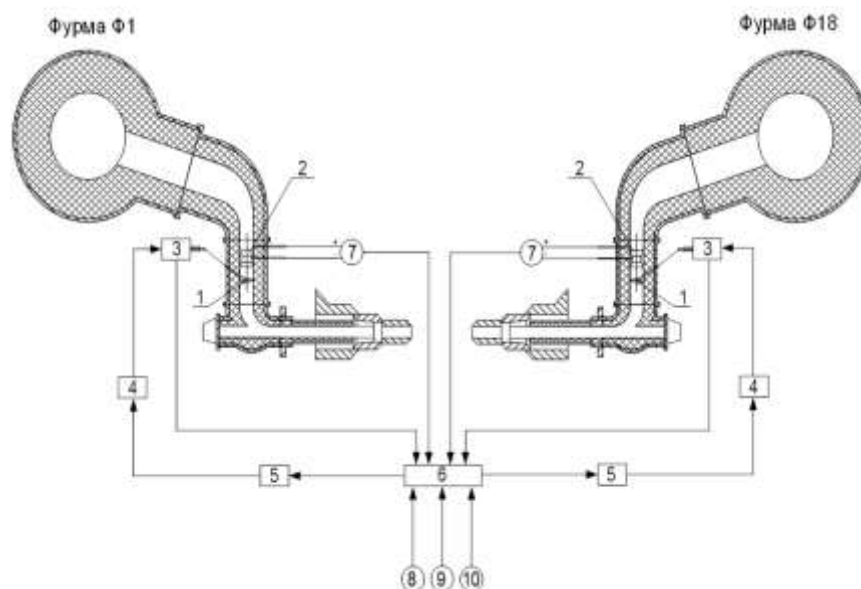


Рисунок 2 – Система автоматичного контролю і регулювання розподілу дуття по фурмам

У якості органів контролю і регулювання відповідно обрані трубки Вентурі і метеликові клапани, виконані з жароміцної сталі і посилені тим, що в їх розробку включається вуглецеве волокно, що значно знижує і уповільнює процес абразивного зносу механізмів [13] – це дозволить клапану працювати в тому ж діапазоні температур, що і витратомір.

У рухливих колінах фурмених рукавів розміщуються метеликові клапани 1 та трубки Вентурі 2. Перепади тиску на трубі Вентурі 2 по імпульсним трубкам поступає на датчики перепаду тиску 7, а далі у вигляді уніфікованого аналогового сигналу надходять в контролер 6.

Витрата гарячого дуття  $Q$  на окрему фурму розраховується наступним чином [9]:

$$Q = C_d \alpha \varepsilon \sqrt{\frac{2\left(\frac{\Delta P}{\rho} gH\right)}{1-\left(\frac{d}{D}\right)^4}}$$

де  $Q$  – витрати дуття на окремо взятую фурму, м<sup>3</sup>/хв;  
 $C_d$  – коефіцієнт витрати = 0,99593;  
 $\alpha$  – обмеження діаметру  $d$ ;  
 $\rho$  – щільність, м<sup>3</sup>/кг  
 $\varepsilon$  – ізоентропічний коефіцієнт розширення;  
 $P_1, P_2$  – тиск на початку трубки і в місці звуження відповідно, Па;  
 $\Delta P = P_1 - P_2$  – різниця тисків, Па;  
 $Z_1, Z_2$  – висота в точках 1 і 2 відповідно, м;  
 $g$  – прискорення вільного падіння, 9,81 (м/с<sup>2</sup>);  
 $H = Z_1 - Z_2$  – різниця висот, м;  
 $D$  – вхідний внутрішній діаметр труби, м;  
 $d$  – обмеження внутрішнього діаметру, м.

Витрати гарячого дуття по окремо взятій фурмі в системі регулюються за допомогою виконавчих механізмів 3, які розміщені під кільцевим повітропроводом, а управління ними здійснюється за допомогою блоків ручного управління 5 і пускачів 4.

Також в мікроконтролер в свою чергу надходить інформація надлишкового тиску холодного дуття 8, загальні витрати холодного дуття 9, а також його температура 10.

Розроблена система автоматичного регулювання витрати гарячого дуття на окремо взятую фурму може працювати як в автоматичному так і дистанційному режимі.

Розроблене програмне забезпечення (рис. 3), що візуалізує процес розподілу дуття по фурмам та надає можливість задавати необхідні значення витрат дуття на окремо взятую фурму, зупинити роботу будь-якої з працюючих фурм.

Основні функції програмного забезпечення:

- контроль витрати на окремо взятую фурму;
- регулювання розподілу дуття по кожній з 18 фурм;
- контроль температуру дуття;
- завдання індивідуальних витрат по кожній фурмі;
- завдання загальної витрати гарячого дуття;
- дистанційне регулювання положення клапанів;
- зупинка роботи фурми;
- автоматичний рівномірний розподіл дуття по всім фурмам;
- автоматичний перерозподіл дуття.

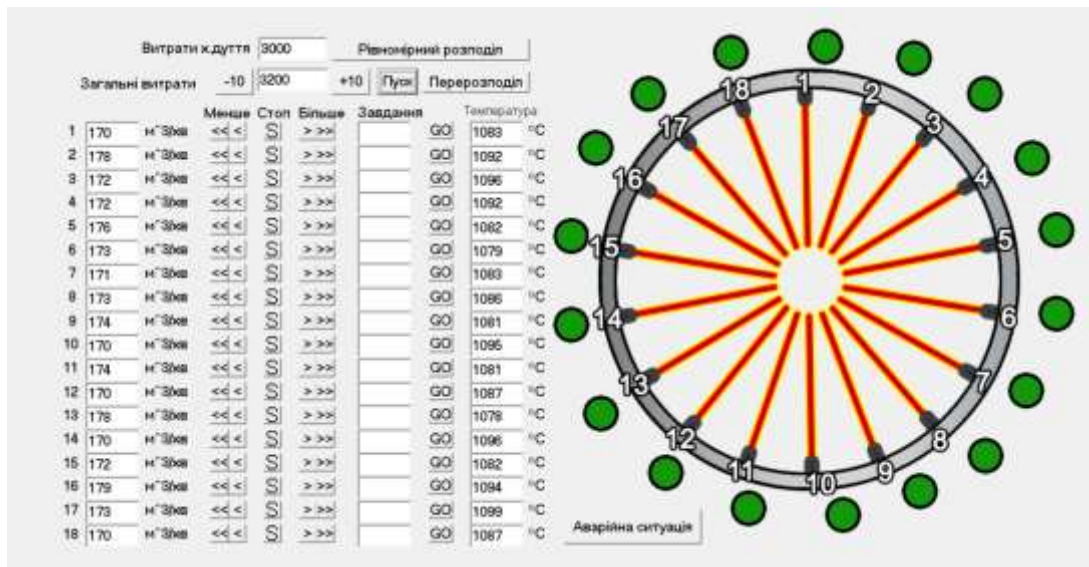


Рисунок 3 – Система регулювання розподілу дуття по повітряним фурмам

Загальний вид системи (рис. 3) включає в себе область для виконання безпосереднього регулювання відповідними параметрами, а також область з графічним зображенням кільцевого повітропроводу з наявними на ньому 18 фурмами. У графічній області кожна фурма відзначена своєю порядковою цифрою, а дуття кожної фурми відзначається жовтими смугами від кожного носка фурми.

Перед початком роботи системи в спеціально відведеному полі задається значення загальної витрати дуття, яке можна змінювати прикріпленими кнопками «-10» і «+10», а також вписуючи значення вручну. Система починає роботу після введення значення загального заданого і натискання кнопки «Пуск».

В області регулювання розподілом зліва в стовпчик розташовується нумерація фурм відповідними порядковими цифрами, поряд з якими знаходяться поля, що показують поточне значення витрат дуття, що подається на ту чи іншу фурму.

Для кожного поля поруч розташовуються кнопки «Менше», «Стоп» і «Більше», що дозволяють регулювати положення клапана в кожній фурмі, а також зупиняти роботу фурми. Зупинка роботи будь-якої фурми буде відображена в графічній області зміною кольору «зеленого кола» (сигналізатора) на червоний.

Завдяки тому, що в системі реалізовано дистанційне керування процесом регулювання витратами на кожну фурму, можливо задавати загальні витрати вручну, також додатково є можливість встановлювати задане значення для кожної фурми індивідуально або взагалі відключати її від роботи.

Рівномірний розподіл дуття по фурмам можна вважати основним технологічним режимом в системі. Для того щоб почати рівномірно розподіляти дуття, в розробленій програмі є відповідний режим. Підключаючи цей режим, дуття починає розподілятися рівномірно по кожній фурмі щодо попередніх загальних заданих витрат. У ситуації, коли одна з фурм з якої-небудь причини не справляється з забезпеченням заданого значення витрат, система автоматично коригує завдання на кожну фурму, щоб забезпечити загальні задані витрати. Це дає можливість практично постійно підтримувати рівномірність розподілу дуття по всім фурмам.

Також є додатковий режим роботи, який передбачає процедуру рівномірного перерозподілу дуття по повітряним фурмам. Даний режим включається оператором в програмі візуалізації натисканням на відповідну кнопку «Перерозподіл». Необхідність режиму перерозподілу дуття по фурмам полягає в тому, що, якщо робота будь-якої з фурм по

ряду причин буде зупинена вручну, або станеться аварійна ситуація, а саме поломка фурми, система проаналізує значення витрати дуття вимкненої фурми і дане значення буде рівномірно розподілено між тими 17-ттю працюючими фурмами шляхом поділу загального поточного значення гарячого дуття на кількість фурм, що продовжують працювати на даний момент.

Система дозволяє проводити розрахунки витрат дуття на кожну фурму доменної печі, а також розрахунок кількості гарячого дуття що подається за хвилину. Обране для контролю і регулювання дуття обладнання здатне витримувати потрібний для системи температурний діапазон, а за допомогою додаткового вуглецевого покриття – абразивний знос.

### ВИСНОВКИ

Автоматичний розподіл дуття по фурмам – це ефективний засіб впливу на хід доменної печі «знизу». Використання розробленої системи автоматичного розподілу дуття по фурмах забезпечить рівномірне надходження дуття в горн доменної печі через окремі фурми, що сприятиме вирівнюванню нагріву по колу горна, рівному ходу доменної, поліпшенню розподілу потоку газів в стовпі шихтових матеріалів і повнішому використанню хімічної і теплової енергії газів, підвищенню продуктивності, скороченню витрати коксу.

#### Перелік використаних джерел:

1. *Жеребин Б.Н.* Автоматическое распределение 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 .
2. *Сенько Г.Е.* Анализ работы доменной печи при автоматическом регулировании дутья по воздушным фурмам / *Г.Е. Сенько, В.П. Оноприенко, А.Н. Царицын и др.* // «Сталь». – 1965. – №5. – С. 590-593.
3. *Стефанович М.А.* Регулирование хода доменной печи изменением места ввода природного газа в дутье / *М.А. Стефанович, В.Г. Дружков, А.Д. Трифонов* // Известия ВУЗов. Черная металлургия. – 1977. – №10. – С.13-14.
4. А.С. 859459 СССР, МПК С 21 В 7/27. Способ регулирования распределения дутья по воздушным фурмам доменной печи / *Коробов И.И., Галаганов А.И., Ковшов В.Н.*; Днепропетровский мет. инст. – №2881715/22-02; заявл. 12.02.80; опубл. 30.08.81, Бюл. №32.
5. *Канаев В.В.* Контроль распределения дутья по воздушным фурмам доменной печи / *В.В. Канаев, И.И. Кобеза, М.Т. Бузоверя, С.Т. Шулико* // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 1995. – №2. – С. 69-71.
6. *Бережной М.М.* Автоматизация металлургических машин и агрегатов: конспект лекций / *М.М. Бережной.* – Кривой рог: КТУ. – 2005. – 63 с.
7. Автоматизированная система контроля расхода дутья по воздушным фурмам доменной печи / *Н.М. Можаренко, В.В. Канаев, А.А. Параносенков и др.* // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии: Сб. научн. тр. — Дніпропетровськ.: ІЧМ НАН України, 2005. — Вип. 11. — С. 34-42.
8. Развитие систем контроля и регулирования расхода горячего дутья по воздушным фурмам доменной печи / *Н.М. Можаренко, А.А. Параносенков, В.И. Негода* // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии: Сб. научн. тр. — Дніпропетровськ.: ІЧМ НАН України, 2005. — Вип. 10. — С. 71-78.
9. *Motta R.* Hot Blast Flow Measurement in Blast Furnace in Straight Pipe / *R. Motta, E. Bortoni L. Souza* // Modern Instrumentation. – 2013. – Vol. 2. – No. 4. – pp. 68-73. doi: 10.4236/mi.2013.24010.

10. Дружков В.Г. Методы определения расхода горячего дутья на отдельно взятую фурму в горне доменной печи / В.Г. Дружков, М.Ю. Ширишов // Вестник МГТУ. - 2015. 27с.
11. Ширишов М.Ю. Совершенствование систем автоматического распределения дутья по фурмам доменных печей / М.Ю. Ширишов, В.Г. Дружков // Сталь. – 2015. - №1. – С. 9-12.
12. Полинов А.А. Распределение дутья по воздушным фурмам / А.А. Полинов, О.П. Онорин, Н.А. Спиринов, И.А. Гуринов // Металлург. – 2018. – №5. – С. 23-27.
13. Гуняев Г.М. Углерод-углеродные композиционные материалы / Г.М. Гуняев, М.Я. Гофин // Авиационные материалы и технологии. – 2013. – №S1. – С. 62-90.

**Койфман А.А., Кулик К.В., Симкин А.И., Леонов И.О.**

## **СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГОРЯЧЕГО ДУТЬЯ ПО ФУРМАМ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ**

*В статье рассмотрен актуальный вопрос об автоматическом регулировании распределения дутья по фурмам доменной печи. Обеспечение равномерного распределения дутья по горну печи позволяет выровнять нагрева по его окружности, улучшить распределение газовых потоков в столбе шихтовых материалов и использовать полностью химическую и тепловую энергию газов. Исследования существующих систем распределения дутья показали причины их неработоспособности. Это вызвано тем, что измерительное оборудование, регулирующие устройства и исполнительные механизмы не выдерживают высоких температур. В качестве решения данной проблемы было предложено включить в разработку исполнительных механизмов углеволокно, что позволит значительно уменьшить абразивный износ и повысить устойчивость к высоким температурам.*

*Была также разработана система автоматического регулирования распределения дутья по каждой фурме отдельно. Расход дутья в системе измеряется при помощи трубок Вентури методом переменного перепада. Регулирование в системе совершается при помощи усиленного углеволокном мотылькового клапана, установленного в неподвижном колене фурменного прибора после трубки Вентури. В среде объектно-ориентированного программирования было разработано специальное программное обеспечение для контроля процесса распределения дутья по фурмам, равномерного его распределения и перераспределения между всеми фурмами, имеющее возможность задавать общий расход и расход на отдельно взятую фурму.*

*Использование разработанной системы автоматического распределения дутья по фурмам позволит обеспечить равномерную подачу дутья в горн доменной печи через отдельные фурмы, что позволит поднять продуктивность самой печи при снижении расхода кокса.*

**Ключевые слова:** *система автоматического распределения дутья, САРД, доменная печь, контроль, регулирование, фурма, дутьё, модель, контроллер, трубка Вентури, мотыльковый клапан*

**Koifman O.O., Kulyk K.V., Simkin O.I., Leonov I.O.**

## **AUTOMATIC DISTRIBUTION OF HOT BLAST TO THE TUYERES BLAST FURNACE**

*The article considers the current issue of automatic control of the distribution of the blast through the blast furnace tuyeres. Ensuring a uniform distribution of blast over the furnace hearth allows you to even out the heating around its circumference, improve the distribution of gas flows*



*in the column of charge materials and the full use of chemical and thermal energy of gases. Studies of existing blast distribution systems have shown the reasons for their inoperability. This was because the measuring equipment, the control devices and the actuators do not withstand high temperatures. As a solution to this problem, it was proposed to add carbon fiber in the development of the actuators that will significantly reduce the abrasive wear and increase the resistance to high temperatures.*

*A system of automatic control of the blast distribution for each tuyere separately was also developed. The airflow in the system is measured with Venturi tubes using a variable differential method. Regulation in the system is carried out by means of a carbon fiber-reinforced butterfly valve installed in the fixed knee of the tuyere device behind Venturi tube. In the environment of object-oriented programming, special software for controlling the process of the blast distribution through the tuyeres, its uniform distribution and redistribution between all tuyeres, with the option to set the total flow rate and the flow rate for a single tuyere was developed.*

*Using the developed system of automatic distribution of blast by tuyeres will ensure a uniform supply of blast to the furnace of the blast furnace through separate tuyeres, which will increase the productivity of the furnace itself while reducing coke consumption.*

**Keywords:** *automatic blast distribution system, ABDS, blast furnace, control, regulation, tuyere, blast, model, controller, Venturi, moth valve*

Рецензент: доц., к.т.н., Кравченко В.П.

Статья поступила 14.11.2019

**УДК 669.162.23/25-52**

**Койфман А.А., Король М.О., Симкин А.И.**

### **АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ НАГРЕВОМ НАСАДКИ ВОЗДУХОНАГРЕВАТЕЛЯ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ РЕГУЛИРОВАНИЯ СОДЕРЖАНИЯ КИСЛОРОДА В ВОЗДУХЕ ГОРЕНИЯ**

*Температура доменного дутья в значительной степени определяется температурой под куполом воздухонагревателей. Исследовано влияние содержания кислорода в обогащенном воздухе, идущего на горение в горелке воздухонагревателя доменной печи, на повышение температуры купола, а, следовательно, и повышение температуры горячего дутья. Приведены основные формулы расчета горения при обогащении в общем виде. С увеличением содержания кислорода в обогащенном воздухе растет температура горения газа и при этом уменьшается количество продуктов горения, что непосредственно повлияет на скорость нагрева купола и насадки. Для компенсации снижения теплообмена в насадке необходимо увеличивать расход доменного газа. При повышении содержания кислорода в воздухе горения с 21 до 50% наблюдается повышение калориметрической температуры горения доменного газа с 1451 до 1821°C, а температуры горения - с 1306 до 1639°C.*

*С использованием архивной базы данных за 7 месяцев системы автоматического управления блока доменных воздухонагревателей металлургического комбината был проведен расчет основных показателей работы блока с повышенным содержанием кислорода в воздухе горения. Повышение содержания кислорода с 21 до 30% может увеличить температуру дутья на 100 °С, что позволит снизить расход кокса и повысить производительность работы доменной печи.*

*Разработана система автоматического управления температурой купола воздухонагревателя с возможностью регулирования содержания кислорода в воздухе горения. Использование предложенной системы даст возможность более гибко*