

АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 669.162.22

doi: 10.31498/2225-6733.40.2020.216222

© Кравченко В.П.¹, Холькін О.М.²**КОНСТРУКТИВНА ХАРАКТЕРИСТИКА КЛАПАНА ХОЛОДНОГО ДУТТЯ І ЇЇ ВПЛИВ НА ТЕМПЕРАТУРУ ДУТТЯ ДОМЕННОЇ ПЕЧІ В ПЕРІОД ПЕРЕКЛЮЧЕННЯ ПОВІТРЕНАГРІВАЧІВ**

Розглядається будова і характеристики клапану холодного дуття (КХД), який традиційно встановлюється на повітронагрівачах (ПН) доменних печей (ДП) вітчизняних металургійних комбінатів. КХД подає холодне дуття в нагрітий ПН, де воно нагрівається і через попередньо відчинений клапан гарячого дуття (КГД) поступає до трубопроводу гарячого дуття ДП, тобто переводить ПН із режиму нагріву в режим дуття. Він є водоохолоджуванним клапаном шиберного типу з круглим прохідним січенням і напівкруглим рухомим затвором, який переміщується електроприводом. Основними характеристиками будь-якого клапану є конструктивна, пропускна та робоча витратна характеристики. Конструктивна встановлює залежність площі прохідного січення клапану від переміщення його затвору, а робоча витратна – залежність витрат речовин від переміщення затвору клапану в робочих умовах. КХД встановлюється на вході ПН, і в період його відкриття холодне дуття подається паралельно до двох ПН – охолодженого і нагрітого. При цьому на клапанах практично немає перепаду тиску гарячого дуття, оскільки маємо паралельне з'єднання трубопроводів дуття при повністю відчиненому КГД охолодженого ПН. В таких умовах роботи клапанів нагрітого і охолодженого ПН конструктивна характеристика клапану стає його робочою витратною і площа його прохідного січення визначає витрати дуття через нього. В зв'язку з цим, для аналізу впливу роботи клапану на температуру гарячого дуття в період переключення ПН необхідно знати його конструктивну характеристику. Для цього аналітично був знайдений математичний вираз цієї характеристики, проаналізовано зміну витрат дуття через КХД при його відчиненні і зачиненні в період переключення ПН. В процесі відкриття КХД нагрітого ПН відбувається зміна співвідношення кількості дуття, яке проходить через охолоджений і нагрітий ПН, що обумовлює зростання температури дуття ДП і досягнення певного її максимуму. Наявність математичного опису робочої витратної характеристики КХД дає можливість в подальшому проаналізувати зміну температури в період переключення ПН і запобігти її некерованій зміні.

Ключові слова: доменна піч, клапан холодного дуття, повітронагрівач, температура гарячого дуття, переключення повітронагрівачів, конструктивна та робоча витратна характеристики, особливості роботи клапанів холодного дуття, вплив на температуру гарячого дуття.

Кравченко В.П., Холькін А.М. Конструктивная характеристика клапана горячего дутья и ее влияние на температуру дутья доменной печи в период переключения воздуховоздухонагревателей. Рассматривается строение и характеристики

¹ канд. техн. наук, доцент, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет, м. Маріуполь, kravchenko_vp@ukr.net

² д-р фіз.-мат. наук, професор, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет, м. Маріуполь, a.kholkin@gmail.com

клапана горячего дутья (КГД), который традиционно устанавливается на воздухонагреватели (ВН) доменных печей (ДП) отечественных металлургических комбинатов. КГД присоединяет нагретый ВН к трубопроводу горячего дутья ДП, то есть переводит ВН из режима нагрева в режим дутья. Он является водоохлаждаемым клапаном шиберного типа с круглым проходным сечением и полукруглым подвижным затвором, который перемещается электроприводом. Основными характеристиками любого клапана есть его конструктивная, пропускная и рабочая расходные характеристики. Конструктивная устанавливает зависимость площади проходного сечения от перемещения его затвора, а рабочая расходная – зависимость расхода вещества от перемещения его затвора в рабочих условиях. КХД устанавливается на входе ВН, и в период его открытия холодное дутье подается на оба ВН – охлажденный и горячий. При этом между клапанами ВН нет перепада давления дутья, поскольку имеем параллельное соединение трубопроводов дутья при полностью открытых КГД охлажденного и нагретого ВН. В таких условиях работы клапанов ВН конструктивная характеристика клапана становится его рабочей расходной, и площадь его проходного сечения определяет расход дутья через него. В связи с этим, для анализа влияния работы клапана на температуру горячего дутья в период переключения ВН необходимо найти его конструктивную характеристику. Для этого аналитическим методом было найдено математическое выражение этой характеристики, выполнен анализ изменения расхода дутья через КХД при его открытии и закрытии в период переключения ВН. При этом в процессе открытия КХД нагретого ВН происходит смена соотношения количества дутья, которое проходит через нагретый и охлажденный ВН, что обуславливает рост температуры дутья и достижение определенного ее максимума. Наличие математического описания рабочей расходной характеристики КХД дает возможность в дальнейшем проанализировать изменение температуры в период переключения ВН и предупредить ее неуправляемое изменение.

Ключевые слова: доменная печь, клапан холодного дутья, воздухонагреватель, температура горячего дутья, переключение воздухонагревателей, конструктивная и рабочая характеристики, особенности работы клапанов воздухонагревателей, влияние на температуру горячего дутья.

V.P. Kravchenko, O.M. Kholkin. The design characteristic of the hot blast valve and its effect on blast furnace temperature during the switching period of the air heaters. The article considers the structure and characteristics of a hot blast valve which is traditionally installed on air heaters of blast furnaces of domestic metallurgical plants. The hot blast valve connects the heated air heater of the blast furnace to the hot blast pipeline, that is, it transfers the air heater from the heating mode to the blowing mode. It is a water-cooled gate valve with a round bore and a semicircular movable gate, which is moved by an electric actuator. The main characteristics of any valve are its constructive, throughput and working characteristics. Constructive characteristics establish the dependence of the flow area on the movement of its gate, and the working characteristics establish the dependence of the flow rate of the substance on the movement of its gate under operating conditions. The cold blast valve is installed at the inlet of the air heater and during the period of its opening the cold blast is supplied to both air heaters, cooled and hot. As this takes place, there is no blast pressure drop between the air heaters valves, since we have a parallel connection of the blast pipelines with fully open hot blast valves of the cooled and heated air heater. Under such operating conditions of the air heater valves, the design characteristic of the valve becomes its working characteristics and its area determines the flow rate of the blast through it. In this regard, in order to analyze the effect of the valve operation on the hot blast temperature during the air heater switching period, it is necessary to find its design characteristic. For this, an analytical method was used to find a mathematical expression for this characteristic, an analysis was made of the change in the flow rate of blast through the cold blast valve when it was opened

and closed during the air heater switching period. In this case, in the process of opening the cold blast valve of the heated air heater, the ratio of the amount of blast, which passes through the heated and cooled air heater, changes, which causes an increase in the blast temperature and reaching a certain maximum of it. The availability of a mathematical description of the working characteristic of the cold blast valve makes it possible to further analyze the temperature change during the air heater switching period and prevent its uncontrolled change.

Keywords: blast furnace, cold blast valve, air heater, hot blast temperature, air heaters switching, design and working characteristics, features of the operation of air heaters valves, the effect on the temperature of the hot blast.

Постановка проблеми. Для стабільної і ефективної роботи доменної печі (ДП) велике значення має стабільність температури гарячого дуття. Підтримання температури дуття на заданому рівні забезпечує система автоматичного регулювання. Система працює в період роботи повітрянагрівача (ПН) в режимі дуття, але після охолодження ПН і необхідності переключення (перехід на нагрітий) система вимикається. Перехід на нагрітий ПН відбувається шляхом відкриття його клапану гарячого (КГД), а потім і холодного дуття (КХД) і подачі більш нагрітого повітря у трубопровід гарячого дуття ДП. В період переключення ПН вимикається регулятор температури дуття, і в цей час в нього не додається холодне повітря. Температура дуття формується тільки кількістю повітря, яке проходить через охолоджений і нагрітий ПН, і, як наслідок, відбувається некероване її підвищення. Кількість дуття, яке проходить через обидва ПН при переключенні, залежить від виду робочої витратної характеристики їх КХД. Тому для аналізу зміни температури дуття в цей період необхідно знайти вид цієї характеристики і вплив її на кількість дуття через ПН. Цим питанням і присвячена дана стаття.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. Опису конструкції і роботи ПН в різних режимах, системам підготовки і подачі дуття в ДП присвячені роботи [1-5]. Особливості роботи, а також системи автоматичного регулювання температури гарячого дуття, наведені у роботах [6, 7]. Значно менше і з протиріччями в тлумаченні результатів є літературні джерела, які висвітлюють питання, присвячені процесам підготовки і подачі дуття в період переключення ПН, а також ролі основних характеристик регулюючої і відсічної арматури в цих процесах [7, 8]. Аналіз літературних джерел показав відсутність розгляду ролі клапанів ПН у формуванні температури дуття в період переключення ПН, а також відсутність теоретичних і практичних рішень, які б забезпечували ефективну стабілізацію температури дуття, яке подається у ДП.

Мета статті – шляхом теоретичних розрахунків одержати основні характеристики клапану холодного дуття ПН і проаналізувати їх роль у формуванні температури дуття в період переключення.

Виклад основного матеріалу. В основний період процесу дуття працює, як правило, один ПН. При його охолодженні (коли температура купола стає такою, як задана температура дуття), необхідно переходити на інший (нагрітий) ПН. Переключення ПН починається, як правило, після повного закриття змішувальної заслони холодного повітря автоматичним регулятором температури дуття ДП. Спочатку вмикається перепускний клапан холодного дуття, який вирівнює тиск у нагрітому ПН і трубопроводі холодного дуття. Потім на протязі 10 с відчиняється КГД нагрітого ПН, після цього на протязі 15 с відчиняється його КХД і нагріте повітря поступає у трубопровід гарячого дуття (конструктивно КГД і КХД однакові). З цього моменту гаряче дуття поступає у піч з обох ПН (охолодженого і нагрітого). В період переключення ПН відбуваються сплески температури дуття, які досягають 50-70°C. Таке підвищення температури може визвати скорочення окислювальної зони в районі фурм і, як наслідок, охолодження гарнісажу у заплечиках печі і погіршення умов сходу шихтових матеріалів [5]. Сплески температури дуття в перехідний період пояснюються декількома причинами. По-перше, в період переключення ПН вимикається регулятор температури дуття, а сигнал на відкриття закритої ЗП холодного повітря на змішування видається тільки після повного відкриття КХД нагрітого ПН, по-друге, подається певна кількість більш гарячого дуття, яке поступає у трубопровід гарячого дуття ДП в період відкриття КХД нагрітого ПН, і, по-третє, час відкриття КХД значно менше (близько 15 с) часу відкриття ЗП холодного повітря на змішування (порядку 100 с). Оскільки відкриття КХД починає подачу дуття з на-

грітого ПН, то для встановлення впливу кожної із розглянутих причин на пікові сплески температури дуття розглянемо спочатку конструкцію і характеристики типового КХД [7]. Цей клапан є клапаном шиберного типу з круглим отвором і закругленим затвором (шибером). Загальний вигляд клапану холодного дуття представлений на рис. 1.

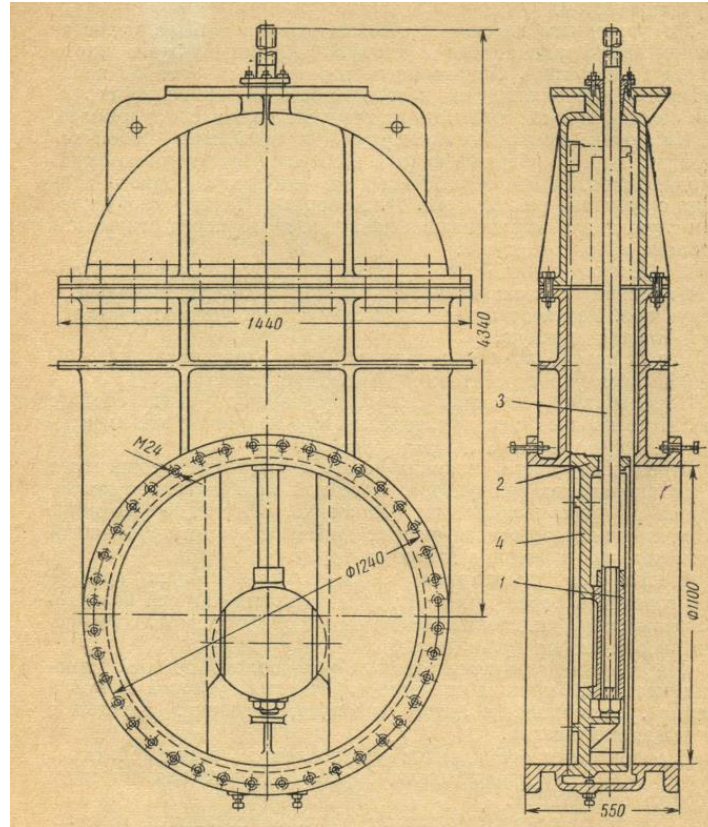


Рис. 1 – Клапан холодного дуття повітренагрівача

Клапан має діаметр 1100 мм у світу, повний хід затвору дорівнює 1470 мм, час закриття і відкриття однаковий і складає 15 с. При відкритті КХД нагрітого ПН обидва ПН (нагрітий і охолоджений) стають паралельно підключеними до трубопроводів холодного і гарячого дуття. При такому з'єднанні двох ПН тиск газів в точці входу і в точці виходу дуття у них однаковий, а перепад тиску незмінний. Ця особливість розташування КГД і КХД повітренагрівачів породжує специфічні умови їх роботи – кількість дуття, яке проходить через них, паралельно розподіляється пропорційно площі відкритого прохідного січення кожного із них, тобто їх *конструктивна характеристика стає робочою витратною характеристикою* [8]. Таким чином, для визначення впливу КХД на температуру дуття в період переключення ПН треба знати його конструктивну характеристику – залежність площі відкритого прохідного січення клапану $S_{вк}$ від переміщення a його затвору. Для знаходження такої залежності скористаємось геометричним методом.

Представимо клапан, як два круги, центри яких зміщені на відстань a . Круги перекривають один одного. Перший – нерухомий отвір клапану, другий – рухомий – шиберний затвор (рис. 2).

Позначимо площу відкритої частини отвору клапану $S_{вк}$, яку треба знайти в залежності від величини переміщення затвору a , тобто $S_{вк} = f(a)$. Ця залежність і буде конструктивною характеристикою клапану. З рис. 2 (а) видно, що поточне значення площі $S_{вк}$ буде дорівнювати площі прохідного січення всього клапану за мінусом площі двох однакових сегментів $S_{с2м}$:

$$S_{вк} = \pi R^2 - 2S_{с2м}. \quad (1)$$

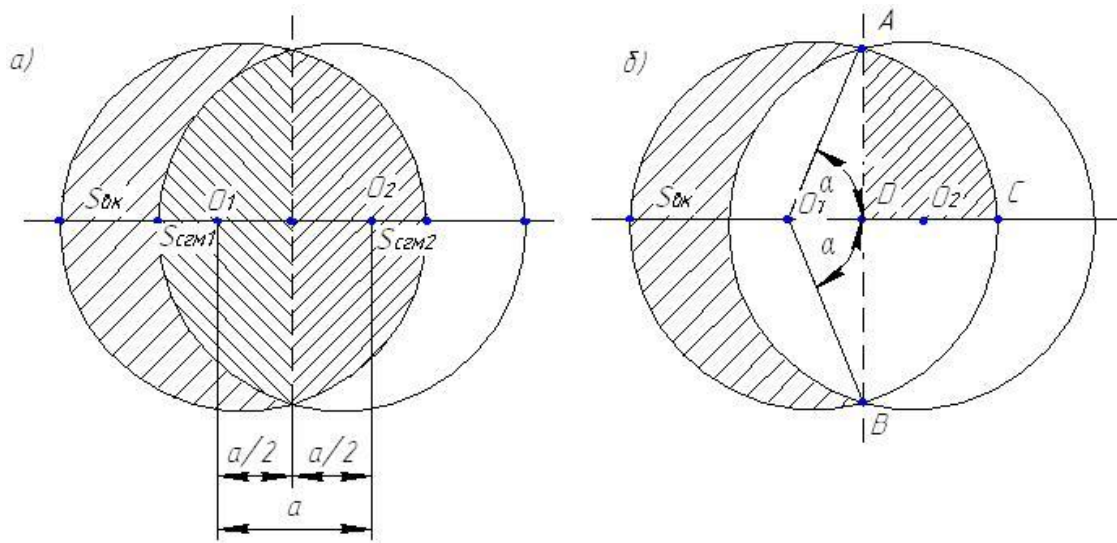


Рис. 2 – Умовне представлення клапану холодного дуття шибєрного типу

Площу правого сегменту знаходимо як різницю площі кругового сектору $S_{кс}(O_1ACB)$ і площі трикутника $S_{\Delta O_1AB}$ з кутом при вершині 2α (рис. 2, б)

$$S_{сзм} = S_{кс} - S_{\Delta O_1AB}.$$

Причому

$$S_{кс} = R^2\alpha, \quad S_{\Delta O_1AB} = 2S_{\Delta O_1AD} = R^2 \sin\alpha \cos\alpha = \frac{1}{2}R^2 \sin 2\alpha.$$

Тому

$$S_{сзм} = R^2\alpha - \frac{1}{2}R^2 \sin 2\alpha = \frac{1}{2}R^2 (2\alpha - \sin 2\alpha). \quad (2)$$

Із трикутника O_1AD знаходимо $\sin\alpha$ та $\cos\alpha$:

$$\sin\alpha = \frac{\sqrt{4R^2 - a^2}}{2R}; \quad \cos\alpha = \frac{a}{2R},$$

де a – величина відкриття затвору (зміщення центрів кругів отвору і затвору).

Звідси знаходимо кут $\alpha = \arccos \frac{a}{2R}$.

Підставляючи в (2) отримані значення $\sin\alpha$, $\cos\alpha$, α та зробивши відповідні перетворення, знаходимо площу сегменту $S_{сзм}$:

$$S_{сзм} = \frac{R^2}{2} \arccos \frac{a}{2R} - \frac{a}{4} \sqrt{4R^2 - a^2}. \quad (3)$$

Підставляючи (3) в (1), маємо площу відкритого отвору клапану $S_{вк}$ як функцію від a переміщення затвору, тобто конструктивну характеристику КХД:

$$S_{вк}(a) = \pi R^2 - 2R^2 \arccos \frac{a}{2R} + \frac{a}{2} \sqrt{4R^2 - a^2}. \quad (4)$$

Якщо клапан зачинений, тобто $a=0$, то площа відкритого прохідного сечення клапану дорівнює нулю. Дійсно, підставляючи в (4) $a=0$, отримуємо

$$S_{вк}(0) = \pi R^2 - 2R^2 \arccos 0 = \pi R^2 - 2R^2 \cdot \frac{\pi}{2} = 0.$$

Якщо клапан повністю відчинений, тобто $a=2R$, то площа відкритого прохідного сечення клапану дорівнює πR^2 . Дійсно, підставляючи в (4) $a=2R$, отримуємо

$$S_{вк}(2\pi) = \pi R^2 - 2R^2 \arccos 1 = \pi R^2 - 2R^2 \cdot 0 = \pi R^2.$$

Типовий КХД повітрянагрівачів (рис. 1) має діаметр отвору $D_{кхд} = 1,1 \text{ м}$ ($R_{кхд} = 0,55 \text{ м}$). При цьому вираз його конструктивної характеристики буде мати такий вигляд:

$$S_{вк}(a) = 0,94985 - 0,605 \cdot \arccos \frac{a}{1,1} + \frac{a}{2} \sqrt{1,21 - a^2} . \quad (5)$$

Графік цієї характеристики представлений на рис. 3.

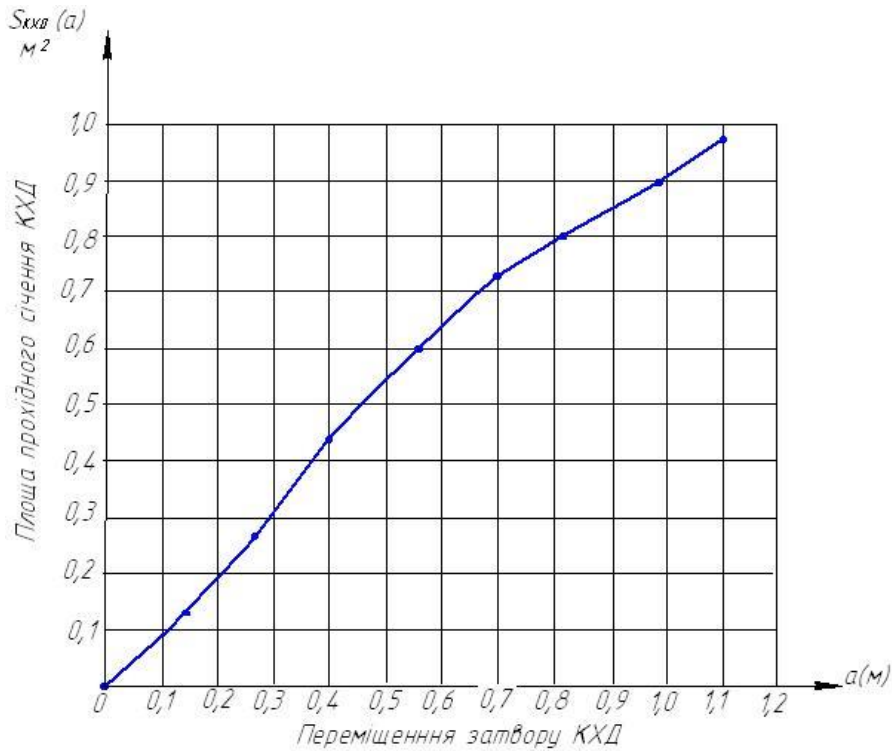


Рис. 3 – Графік конструктивної характеристики КХД с діаметром отвору 1,1 м

Кількість дуття, яке проходить через КХД при його відчиненні або зачиненні в залежності від переміщення затвору a , обчислюється згідно конструктивної характеристики наступним чином:

$$Q(a) = \max Q \cdot \frac{S_{вк}(a)}{\max S_{вк}^H} . \quad (6)$$

Зміна площі $S_{вк}^H$ та $S_{вк}^{ox}$ прохідного січення типового КХД і долі кількості дуття $Q(a)$ відносно максимальної $\max Q$ через нього згідно конструктивної характеристики для нагрітого і охолодженого ПН в залежності від переміщення затвору a представлені в таблиці 1.

Таблиця 1

Зміна площі $S_{вк}(a)$ прохідного січення типового КХД і кількості дуття через нього відносно $\max Q$ в долях і в $\text{м}^3/\text{с}$.

$a(R)$, м	0	0,25R	0,5R	0,75R	R	1,25R	1,5R	1,75R	2R
		0,1375	0,275	0,4125	0,55	0,6875	0,825	0,9625	1,1
$S_{вк}(a)$, м^2	0	0,1508	0,2970	0,4429	0,5826	0,700	0,8142	0,9033	0,9498
$Q(a)$	0	0,159	0,313	0,466	0,613	0,737	0,857	0,951	1,0
		$\max Q$	$\max Q$	$\max Q$	$\max Q$	$\max Q$	$\max Q$	$\max Q$	$\max Q$
$Q(a)$, $\text{м}^3/\text{с}$	0	9,699	19,093	28,426	37,393	44,957	52,277	58,011	61

В період переключення, коли відчиняється КХД нагрітого ПН, а КГД і КХД охолодженого повністю відчинені, кількість дуття через них змінюється наступним чином. Через охолоджений ПН воно зменшується:

$$Q_{\text{вк}}^{\text{ох}}(a) = \Sigma \max Q_0 \cdot \left(1 - 0,5 \frac{S_{\text{вк}}^H(a)}{\max S_{\text{вк}}^H} \right).$$

Через нагрітий, по мірі відкриття його КХД, починає збільшуватись:

$$Q_{\text{вк}}^H(a) = \Sigma \max Q_0 \cdot 0,5 \cdot \frac{S_{\text{вк}}^H(a)}{\max S_{\text{вк}}^H}.$$

В момент, коли повністю відчиниться КХД нагрітого ПН, кількість дуття через обидва ПН буде однаковою і дорівнюватиме по $0,5 \Sigma \max Q_0$. Зміна площі прохідного січення $S_{\text{вк}}^H(a)$ при відчиненні КХД нагрітого ПН і долі кількості дуття через обидва ПН представлені в таблиці 2, а зміна витрат дуття при $\Sigma \max Q_0 = 54,9 \text{ нм}^3/\text{с}$ – в таблиці 3.

Таблиця 2

Зміна площі прохідного отвору КХД нагрітого ПН при його відчиненні і долі витрат дуття через нагрітий і охолоджений ПН

a	$S_{\text{вк}}^H(a)$ нагрітого ПН	Доля $S_{\text{вк}}^H(a)$ $0,5 \cdot \frac{S_{\text{вк}}^H(a)}{\max S_{\text{вк}}^H}$	Доля $S_{\text{вк}}^{\text{ох}}(a)$ $1 - 0,5 \cdot \frac{S_{\text{вк}}^H(a)}{\max S_{\text{вк}}^H}$
0	0	0	1
0,25 R	0,151	0,095	0,905
0,5 R	0,297	0,1565	0,8435
0,75 R	0,443	0,233	0,767
1,0 R	0,596	0,3135	0,6865
1,25 R	0,700	0,3685	0,315
1,5 R	0,814	0,4285	0,5715
1,75 R	0,903	0,4755	0,5245
2,0 R	0,94985	0,5	0,5

Таблиця 3

Зміна витрат дуття через обидва ПН під час відкриття КХД нагрітого ПН

a	$S_{\text{вк}}^H$ нагрітого ПН	$Q_{\text{вк}}^H = 0,9 \max Q_0,$ нм ³ /с	$Q_{\text{вк}}^{\text{ох}} = 0,9 \Sigma \max Q_0,$ нм ³ /с
0	0	0	54,9,0
0,25 R	0,151	2,424	52,476
0,5 R	0,297	7,732	47,168
0,75 R	0,443	12,792	42,108
1,0 R	0,596	17,211	37,689
1,25 R	0,700	20,230	34,670
1,5 R	0,814	23,524	31,376
1,75 R	0,903	26,100	28,800
2,0 R	0,94985	27,450	27,450

$Q_{\text{вк}}^H$ – витрати холодного дуття через КХД нагрітого ПН;

$Q_{\text{вк}}^{\text{ох}}$ – витрати холодного дуття через КХД охолодженого ПН.

Після повного відкриття КХД нагрітого ПН починає зачинятись КХД охолодженого. При цьому кількість дуття через обидва ПН продовжує перерозподілятися. Через охолоджений ПН воно зменшується, а через нагрітий – збільшується (таблиця 4).

Таблиця 4

Зміна витрат дуття через обидва ПН під час закриття КХД охолодженого ПН

<i>a</i>	$S_{вк}$ охолодженого ПН	$Q_{кзд}^{ох}$, нм ³ /с	$Q_{кзд}^H$, нм ³ /с
2,0 R	0,94985	27,450	27,450
1,75 R	0,903	26,100	28,800
1,5 R	0,814	23,524	31,376
1,25 R	0,700	20,230	34,670
1,0 R	0,596	17,211	37,689
0,75 R	0,443	12,792	42,108
0,5 R	0,297	7,732	47,168
0,25 R	0,151	2,424	52,476
0	0	0	54,900

Під час переключення ПН в процесі перерозподілу кількості дуття змінюється температура, з якою воно подається в ДП. Це пояснюється зміною співвідношення більш гарячого і охолодженого дуття. Причому, саме співвідношення визначається особливостями конструктивної характеристики КХД обох ПН.

Висновки

1. Одержана в аналітичній формі конструктивна характеристика типових клапанів холодного і гарячого дуття повітрянагрівачів доменної печі.
2. Показано, що розташування клапанів в паралельних трактах дуття повітрянагрівачів визначає їх конструктивну характеристику як робочу витратну.
3. По робочій витратній характеристиці клапанів розрахована кількість дуття, яке проходить через охолоджений і нагрітий повітрянагрівачі під час їх переключення, що дає змогу в подальшому розраховувати температуру дуття в цей період.

Перелік використаних джерел:

1. Доменные воздухонагреватели / Ф.Р. Шкляр [и др.]. – М. : Metallurgiya, 1982. – 176 с.
2. Грес Л.П. Теплообменники доменных печей / Л.П. Грес, С.А. Карпенко, А.Е. Миленина. – Днепропетровск : «Пороги», 2012. – 491 с.
3. Остроухов М.Я. Справочник мастера доменщика / М.Я. Остроухов, Л.Я. Шпарбер. – М. : Metallurgiya, 1977. – 304 с.
4. Готлиб А.Д. Нагрев дутья и расход кокса / А.Д. Готлиб. – Харьков, Москва : ГНТИЗ литературы по черной и цветной металлургии, 1947. – 164 с.
5. Стефанович М.А. Анализ хода доменного процесса / М.А. Стефанович. – Свердловск : ГНТИЗ литературы по черной и цветной металлургии, 1960. – 386 с.
6. Глинков Г.М. АСУ ТП в черной металлургии / Г.М. Глинков, В.А. Маковский. – 2-е изд., пер. и доп. – М. : Metallurgiya, 1989. – 384 с.
7. Попов А.А. Газовщик доменной печи / А.А. Попов, Ю.А. Попов. – М. : Metallurgiya, 1966. – 155 с.
8. Карпенко С.А. Выбор клапана для регулирования температуры горячего дутья / С.А. Карпенко, Т.В. Самойленко, Л.П. Грес // Концерн «Союзэнерго». – Днепропетровск : Главный портал трубопроводной арматуры, 2013. – С. 1-7.

References:

1. Shkliar F.R., Malkin V.M., Kashtanova S.P., Kalugin Ia.P., Sovetkin V.L. *Domennye vozdukhonagrevateli* [Blast furnaces]. Moscow, Metallurgiiia Publ., 1982. 176 p. (Rus.)
2. Gres L.P., Karpenko S.A., Milenina A.E. *Teploobmenniki domennykh pechei* [Blast furnace heat exchangers]. Dnipropetrovsk, Porogi Publ., 2012. 491 p. (Rus.)
3. Ostroukhov M.Ia., Shparber L.Ia. *Spravochnik мастера domenshchika* [Blast furnace master handbook]. Moscow, Metallurgiiia Publ., 1977. 304 p. (Rus.)

4. Gotlib A.D. *Nagrev dut'ia i raskhod koksa* [Blast heating and coke consumption]. Kharkiv, Moscow, GNTIZ literatury po chernoi i tsvetnoi metallurgii, 1947. 164 p. (Rus.)
5. Stefanovich M.A. *Analiz khoda domennogo protsessa* [Analysis of the blast furnace process]. Sverdlovsk, GNTIZ literatury po chernoi i tsvetnoi metallurgii, 1960. 386 p. (Rus.)
6. Glinkov G.M., Makovskii V.A. *ASU TP v chernoi metallurgii* [Process control system in ferrous metallurgy]. Moscow, Metallurgii Publ., 1989. 384 p. (Rus.)
7. Popov A.A., Popov Iu.A. *Gazovshchik domennoi pechi* [Blast furnace gasman]. Moscow, Metallurgii Publ., 1966. 155 p. (Rus.)
8. Karpenko S.A., Samoilenko T.V., Gres L.P. Vybory klapana dlia regulirovaniia temperatury goruchego dut'ia [Selection of a valve for regulating the hot blast temperature]. *Kontsern «Soyuzenergo» – Concern «Soyuzenergo»*, 2013, pp. 1-7.

Рецензент: В.О. Маслов
д-р техн. наук, проф., ДВНЗ «ПДТУ»

Стаття надійшла 13.04.2020