

ВПЛИВ ЧАСТКИ КОКСОВОГО ГАЗУ В ПАЛИВІ НА НЕОБХІДНИЙ РІВЕНЬ ПІДГРІВУ ПОВІТРЯ ГОРІННЯ ДОМЕННИХ ПОВІТРОНАГРІВАЧІВ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ЇХ ТЕПЛОТИ ДИМОВИХ ГАЗІВ

О. М. ЗАЄЦЬ

Кафедра Теплотехніки та енергоефективних технологій, НТУ «ХПІ», Харків, УКРАЇНА
email: helena.lz487@gmail.com

АНОТАЦІЯ Запропоновано перед проектуванням системи утилізації теплоти димових газів доменних повітрянагрівачів з теплового балансу згоряння палива встановити взаємозалежність необхідної температури підігріву повітря горіння повітрянагрівачів та температуру підігріву повітря і доменного газу, збагаченого коксовим, одночасно від частки коксового газу в паливі. Розглянуто два температурних періоди: літній та зимній. Вставлено частку коксового газу, яку можна досягти внаслідок підігріву компонентів горіння доменних повітрянагрівачів за рахунок системи утилізації теплоти димових газів повітрянагрівачів.

Ключові слова: повітря горіння; коксовий газ; доменний газ; утилізація теплоти; тепловий баланс; доменні повітрянагрівачі

INFLUENCE OF THE COKE GAS SHARE IN THE FUEL ON THE REQUIRED LEVEL OF HEATING OF BLAST STOVES COMBUSTION AIR USING THEIR FLUE GASE HEAT

О. ZAIETS

Department of heat engineering and energy efficiency technologies, NTU «KhPI», Kharkiv, UKRAINE

ABSTRACT To meet the increasing demand for energy saving, a heat exchanger must be applied in the hot blast generating system to recover the flue gas sensible heat for the purpose of fuel gas and air preheating. The final temperatures and fuel composition are included in the number of initial data for calculation of heat exchanger. It is very useful to determine interrelation of the coke gas share in the fuel with gas and air preheat temperatures before calculation - this is the purpose of the paper. Such determination was made using the fuel combustion heat balance equation. In this case the initial data were: the blast furnace gas composition, the coke oven gas composition, the desired temperature under the dome of the hot blast stove, ambient temperatures for winter and summer conditions in the Ukraine. Part of the coke oven gas in the fuel was varied from 0 to 16%. Two cases of preheating were investigated: preheating of the combustion air only, preheating of combustion air and fuel at the same time. Each case was reviewed in the winter and summer conditions. As a result, a number of data were obtained. Out of this number optimal variants were selected. It was concluded that combustion air preheating provides reducing of coke gas share in the fuel to 9-12%, and simultaneous preheating of combustion air and fuel provides reducing of coke gas share in the fuel to 7-9%. Such measures lead to substantial savings of expensive coke gas and can be achieved using a recuperative heat exchanger, because temperature of preheating varies from 178°C to 224°C. These results will serve as data for further calculation of heat exchanger. At the same time further elimination of the coke oven gas is impossible as the temperature under the hot blast stove dome will not be achieved.

Keywords: combustion air; coke oven gas; blast furnace gas; waste heat recovery; heat balance.

Вступ

Металургійна галузь – це базова галузь економіки України. Підприємства чорної металургії становлять 88% від металургійного комплексу, який в свою чергу забезпечує понад 20% валового продукту країни. При цьому металургійна галузь характеризується високою енергоємністю, яка пояснюється неефективним споживанням паливно-енергетичних ресурсів. Так енергоємність при виробництві чавуну на вітчизняних підприємствах на 30 % вища, ніж у провідних іноземних виробників [1].

При виробництві чавуну доменний газ, що виробляється доменними печами, використовується повітрянагрівачами для нагріву доменного дуття. При цьому теплота згоряння доменного газу не здатна

забезпечити необхідну температуру під куполом повітрянагрівачів (1300-1450°C). Для досягнення такої температури необхідно доменний газ збагачувати високовартісними висококалорійними добавками: природним чи коксовим газом. При цьому теплота димових газів доменних повітрянагрівачів зазвичай не використовується [2].

Для використання теплоти димових газів можуть створюватися системи утилізації, що використовуються для підігріву компонентів горіння доменних повітрянагрівачів за рахунок теплоти їх димових газів. При проектуванні таких систем треба уявляти необхідні рівні підігріву компонентів горіння, що пов'язані з часткою висококалорійної добавки в паливній суміші.

Формулювання цілей статті

На прикладі регенеративного повітря-нагрівача з виносною камерою згорання, для заданого складу палива, треба оцінити вплив частки коксу на необхідні температури підігріву компонентів горіння.

Викладення основного матеріалу

За межами нашої країни тепловий потенціал димових газів доменних повітрянагрівачів використовується з 70-80х років [3-5] і по сьогодні [6-11]. Перші системи утилізації теплоти димових газів в Україні були спроектовані науковцями Національної металургійної академії України (НМетАУ) [12]. Вплив початкових параметрів компонентів горіння (температури, тиску, вологості) на теплоту згорання палива та рівні їх підігріву досліджено в [13].

В рамках наведених розрахунків в першу чергу задані сухі маси газів були перераховані на вологі – табл. 1-4

Далі були отримані показники складу суміші палива при частці коксу 0-16 % (табл. 5).

За допомогою методики, наведеної в джерелі [14], був виконаний розрахунок матеріального балансу горіння палива (табл. 6). Окрім значень теплоти згорання (Q_n^p) та теоретичної (L_0) і реальної витрати повітря (L_d), був визначений склад димових газів: об'єми продуктів згорання – V_{CO_2} , V_{H_2O} , V_{N_2} , V_{O_2} ; їх частки – r_{CO_2} , r_{H_2O} , r_{N_2} , r_{O_2} . Ці значення є цінними для подальших розрахунків, а саме – визначення режимних параметрів димових газів (температури та витрати), а також для проектування та розрахунку системи утилізації теплоти.

Використовуючи відоме значення проектною температури під куполом (1350 °C), була знайдена калориметрична температура (1530 °C) [2 С.121].

Необхідні температури підігріву повітря визначались з теплового балансу горіння палива (1) [13].

$$V_d \cdot c_{D0}^{t_{кал}} \cdot t_{кал} = Q_n^p + Q_{ф.п.} + Q_{ф.лов} - q_{х.н.}, \quad (1)$$

де V_d – дійсний об'єм продуктів згорання, м³/м³.

$c_{D0}^{t_{кал}}$ – середня об'ємна теплоємність продуктів згорання в інтервалі температур 0- $t_{кал}$, кДж/(м³·град);

Q_n^p – теплота згорання вологого газу, кДж/м³;

$Q_{ф.п.} = c_{0Г}^{t_r} \cdot t_r$ – фізична теплота палива, кДж/м³;

Таблиця 1 – Склад сухого доменного газу

Склад газу за об'ємом, %						Вологість газу
CO ₂	CO	H ₂	N ₂	O ₂	CH ₄	W ^c , г/м ³
21	23	3	53	0	0	50

Таблиця 2 – Склад сухого коксового газу

Склад газу за об'ємом, %							Вологість газу
CO ₂	CO	H ₂	N ₂	O ₂	CH ₄	C _m H _n	W ^c , г/м ³
2,6	7,1	58,4	3,2	1	24,8	2,9	50

Таблиця 3 – Склад вологого доменного газу

Склад газу за об'ємом, %						
CO ₂	CO	H ₂	N ₂	O ₂	CH ₄	H ₂ O
19,8	21,6	2,8	49,9	0	0	5,9

Таблиця 4 – Склад вологого коксового газу

Склад газу за об'ємом, %							
CO ₂	C	H	N	O ₂	CH ₄	C _m H _n	H ₂ O
	O	2	2		4	n	O
2,4	6,7	5,5	3	0,9	23,4	2,7	5,9

Таблиця 5 – Склад паливної суміші

Вміст кокс. газу, %	Склад газу за об'ємом, %							
	CO ₂	CO	H ₂	N ₂	O ₂	CH ₄	C _m H _n	H ₂ O
0	19,8	21,6	2,8	49,9	0	0	0	5,9
1	19,63	21,45	3,32	49,43	0,01	0,23	0,03	5,9
2	19,45	21,3	3,84	48,96	0,02	0,47	0,05	5,9
3	19,28	21,15	4,37	48,49	0,03	0,7	0,08	5,9
4	19,1	21	4,89	48,02	0,04	0,94	0,11	5,9
5	18,93	20,86	5,41	47,55	0,05	1,17	0,14	5,9
6	18,76	20,71	5,93	47,09	0,05	1,4	0,16	5,9
7	18,58	20,56	6,45	46,62	0,06	1,64	0,19	5,9
8	18,41	20,41	6,98	46,15	0,07	1,87	0,22	5,9
9	18,23	20,26	7,5	45,68	0,08	2,11	0,24	5,9
10	18,06	20,11	8,02	45,21	0,09	2,34	0,27	5,9
11	17,89	19,96	8,54	44,74	0,1	2,57	0,3	5,9
12	17,71	19,81	9,06	44,27	0,11	2,81	0,32	5,9
13	17,54	19,66	9,59	43,8	0,12	3,04	0,35	5,9
14	17,36	19,51	10,11	43,33	0,13	3,28	0,38	5,9
15	17,19	19,36	10,63	42,87	0,14	3,51	0,41	5,9
16	17,02	19,22	11,15	42,4	0,14	3,74	0,43	5,9

Таблиця 6 – Результати розрахунку матеріального балансу палива при частці коксу 0-16%:

Вміст коксу,%	Період	Q_p , МДж/м ³	L_0 , м ³ /м ³	L_d , м ³ /м ³	V_{CO_2} , м ³ /м ³	V_{H_2O} , м ³ /м ³	V_{N_2} , м ³ /м ³	V_{O_2} , м ³ /м ³	V_d , м ³ /м ³	r_{CO_2}	r_{H_2O}	r_{N_2}	r_{O_2}
0	Хол.	3,05	0,584	0,631	0,414	0,091	0,998	0,01	1,512	0,274	0,06	0,66	0,006
	Тепл.		0,593	0,64		0,1	1,005	0,01	1,528	0,271	0,066	0,657	0,007
1	Хол.	3,19	0,619	0,669	0,414	0,102	1,023	0,01	1,548	0,267	0,066	0,66	0,007
	Тепл.		0,628	0,678		0,111	1,03	0,011	1,566	0,264	0,071	0,658	0,007
2	Хол.	3,33	0,654	0,706	0,413	0,112	1,048	0,011	1,584	0,261	0,071	0,661	0,007
	Тепл.		0,663	0,716		0,123	1,055	0,011	1,602	0,258	0,076	0,659	0,007
3	Хол.	3,47	0,689	0,744	0,413	0,123	1,073	0,012	1,62	0,255	0,076	0,662	0,007
	Тепл.		0,698	0,754		0,134	1,081	0,012	1,639	0,252	0,082	0,659	0,007
4	Хол.	3,61	0,724	0,781	0,413	0,134	1,098	0,012	1,656	0,249	0,081	0,663	0,007
	Тепл.		0,734	0,792		0,145	1,106	0,012	1,676	0,246	0,086	0,66	0,007
5	Хол.	3,75	0,758	0,819	0,412	0,144	1,123	0,013	1,692	0,244	0,085	0,664	0,008
	Тепл.		0,769	0,831		0,156	1,132	0,013	1,713	0,241	0,091	0,661	0,008
6	Хол.	3,89	0,793	0,857	0,412	0,155	1,148	0,013	1,728	0,238	0,09	0,664	0,008
	Тепл.		0,804	0,869		0,167	1,157	0,014	1,75	0,235	0,096	0,661	0,008
7	Хол.	4,03	0,828	0,894	0,412	0,166	1,173	0,014	1,764	0,233	0,094	0,665	0,008
	Тепл.		0,84	0,907		0,179	1,183	0,014	1,787	0,23	0,1	0,662	0,008
8	Хол.	4,17	0,863	0,932	0,411	0,176	1,198	0,014	1,8	0,229	0,098	0,665	0,008
	Тепл.		0,875	0,945		0,19	1,208	0,015	1,824	0,225	0,104	0,662	0,008
9	Хол.	4,31	0,897	0,969	0,411	0,187	1,223	0,015	1,835	0,224	0,102	0,666	0,008
	Тепл.		0,91	0,983		0,201	1,233	0,015	1,861	0,221	0,108	0,663	0,008
10	Хол.	4,45	0,932	1,007	0,411	0,198	1,248	0,016	1,871	0,219	0,106	0,667	0,008
	Тепл.		0,945	1,021		0,212	1,259	0,016	1,897	0,216	0,112	0,663	0,008
11	Хол.	4,59	0,967	1,044	0,41	0,208	1,273	0,016	1,907	0,215	0,109	0,667	0,009
	Тепл.		0,981	1,059		0,224	1,284	0,016	1,934	0,212	0,116	0,664	0,009
12	Хол.	4,73	1,002	1,082	0,41	0,219	1,298	0,017	1,943	0,211	0,113	0,668	0,009
	Тепл.		1,016	1,097		0,235	1,31	0,017	1,971	0,208	0,119	0,664	0,009
13	Хол.	4,87	1,037	1,12	0,409	0,23	1,323	0,017	1,979	0,207	0,116	0,668	0,009
	Тепл.		1,051	1,135		0,246	1,335	0,018	2,008	0,204	0,122	0,665	0,009
14	Хол.	5,01	1,071	1,157	0,409	0,24	1,348	0,018	2,015	0,203	0,119	0,669	0,009
	Тепл.		1,087	1,174		0,257	1,36	0,018	2,045	0,2	0,126	0,665	0,009
15	Хол.	5,15	1,106	1,195	0,409	0,251	1,373	0,019	2,051	0,199	0,122	0,669	0,009
	Тепл.		1,122	1,212		0,268	1,386	0,019	2,082	0,196	0,129	0,666	0,009
16	Хол.	5,29	1,141	1,232	0,408	0,262	1,398	0,019	2,087	0,196	0,125	0,67	0,009
	Тепл.		1,157	1,25		0,28	1,411	0,019	2,119	0,193	0,132	0,666	0,009

$Q_{ф.пов.} = L_d \cdot c_{0ПОВ}^{t_{пов}} \cdot t_{пов}$ – фізична теплота повітря, кДж/м³;
 $t_G, t_{пов}$ – температури підігріву палива і повітря, °С;
 $c_{0Г}^{t_G}, c_{0ПОВ}^{t_{пов}}$ – середні об'ємні теплоємності палива в інтервалі температур 0 – t_G і повітря горіння в інтервалі температур 0 – $t_{пов}$, кДж/(м³·град);
 $q_{х.н.}$ – питома теплота хімічного недопалу палива, кДж/м³.

Було виконано ряд розрахунків: коли підігрівається лише повітря (холодний і теплий період), коли підігрівається і повітря, і доменний газ (холодний і теплий період); процентний вміст коксу задавали від 0 до 16 %.

Значенням хімічного недопалу знехтували. Максимальна температура підігріву доменного газу склала 170°С, оскільки вона обмежується стійкістю гумового ущільнювача дроселя, що регулює витрату димового газу [13 С.217].

Початкова температура палива становила 50 °С, повітря 3°С і 33°С для зимнього і літнього періодів відповідно [2 С. 358]

Обговорення результатів

З результатів розрахунків видно, що для забезпечення необхідної калориметричної, а значить і проектної температури, під куполом повітрянагрівача необхідно спалювати паливо з часткою коксу 16% (табл. 7).

Підігрів повітря горіння може призвести до скорочення цього параметру до 9-12%, а одночасний підігрів і повітря, і палива – до 7-9%. При цьому необхідна температура підігріву повітря коливатиметься в межах 178-224°С.

Виключити коксовий газ із паливної суміші повністю за рахунок підігріву компонентів горіння з використанням лише теплоти димових газів неможливо, оскільки в цьому разі температура підігріву повітря повинна сягати 780-953°С.

Таблиця 7 – Визначення необхідних температур підігріву повітря

Вміст кокс. газу,%	Період	$t_{пов}, °C$	
		підігрів лише повітря	підігрів повітря і палива
0	Хол.	953	780
	Тепл.	987	812
1	Хол.	843	685
	Тепл.	868	720
2	Хол.	761	595
	Тепл.	794	633

Продовження табл. 7.

3	Хол.	675	513
	Тепл.	711	552
4	Хол.	595	438
	Тепл.	632	479
5	Хол.	520	369
	Тепл.	559	411
6	Хол.	452	306
	Тепл.	492	349
7	Хол.	388	247
	Тепл.	430	292
8	Хол.	329	193
	Тепл.	372	239
9	Хол.	274	142
	Тепл.	319	189
10	Хол.	224	95
	Тепл.	269	143
11	Хол.	176	51
	Тепл.	222	100
12	Хол.	132	9,7
	Тепл.	178	60
13	Хол.	90	-
	Тепл.	138	22
14	Хол.	50	-
	Тепл.	99	-
15	Хол.	12	-
	Тепл.	62	-
16	Хол.	-	-
	Тепл.	27,7	-

Наступними кроками має стати оцінка теплового потенціалу димових газів блоку повітрянагрівачів, для чого необхідно визначити зміни їх температури і витрати з плином часу, а також виконати вибір і розрахунок теплоутилізаційного оснащення.

Висновок

Із отриманих даних видно, що відмовитись від додавання висококалорійних добавок при заданому складі палива проблематично, але за рахунок підігріву компонентів горіння значно скоротити їх частку в паливі цілком можливо. Розрахунок утилізаційного оснащення має відбуватись з урахуванням отриманих даних.

Список літератури

1. **Майборода, О. Є.** Шляхи підвищення конкурентноспроможності металургійної галузі / **О. Є. Майборода** // Вісник НТУ «ХПІ». – 2013 – №67 (1040) – С. 46-52.
2. **Грес, Л. П.** Высокоэффективный нагрев доменного дутья: Монография / **Грес Л. П.** – Днепропетровск: Пороги. – 2008. – 492 с.
3. **Pat. JPS52091711 (A)**, Japan, IPC C21B9/14, C21B9/00. Recovery of waste heat in hot stove of blast furnace /

- Nakagawa Koichiro, Moridera Hiromitsu**; appl. Nippon Steel Corporation; 1977-08-02.
4. **Pat. JPS55125210 (A)**, Japan, IPC C21B9/14, C21B9/00, F27D17/00. Method and apparatus of recovering waste heat of hot stove / **Hatsutori Masayuki; Shibamoto Shingo; Ootake Kazufumi; Fukamachi Kunio**; appl. Nippon Steel Corporation; 1980-09-26.
 5. A Simulation Program For Energy Saving in Hot Stove System / **Asada Research Laboratory, Kobe Steel, Ltd.** // «*Transactions of the Iron and Steel Institute of Japan*» – Vol. 26(1986). – №10. – 920 p. – doi: 10.2355/isijinternational1966.26.920.
 6. **Vatanakul, M.** Waste Heat Utilization to Increase Energy Efficiency in the Metals Industry / **M. Vatanakul E. Cruz, K. McKenna, R. Hynes, J. Sarvinis, J. Swanepoel** // *Energize*. – Aug. 2011 – P. 72-76. – doi: 10.1002/9781118061886.ch1.
 7. **Bisio, G.** First-and second-Law Analyses of Energy Recoveries in Blast-furnace Regenerators / **G. Bisio** // *Energy*. – 2012. – Vol. 21, Issue 2 – P. 147-155. – doi: 10.1016/0360-5442(95)00103-4.
 8. **Pei-Hsun Lin** Efficiency Improvement of the Hot Blast Generating System by Waste Heat Recovery / **Pai-Hsiang Wang, Hui-Tien Chen, Wei-Lun Chung** // *Energy and Sustainability. WIT PRESS* Southampton, Boston. – 2012. – P. 113-121. – doi: 10.2495/ESUS070121.
 9. **Nicolás Pardo** Prospective Scenarios on Energy Efficiency and CO₂ Emissions in the European Iron & Steel industry / **Nicolás Pardo, José Antonio Moya** // *Energy*. – 2013. – Vol. 54. – P. 113 – 128. – doi: 10.1016/j.energy.2013.03.015.
 10. **Smith, M.** Blast Furnace Ironmaking: View on Future Developments / **M. Smith** // *Ironmaking and steelmaking*. – 2015. – Vol. 42. – Issue 10. – P. 734-742. – doi: 10.1179/0301923315Z.000000000422.
 11. **Nagaraja Rao K.** Design and Analysis of Waste Heat Recovery System to Improve the Performance of Blast Furnace / **K. Nagaraja Rao, Chandrashekar Hiregoudar & M. Jeethendrac** // *International Journal for Ignited Minds (IJMINDS)*. – 2016. – Vol. 03. – Issue 03. – [Web] http://www.ijiminds.com/allarticles/article_100_0.pdf
 12. **Грес, Л. П.** Повышение энергоэффективности нагрева доменного дутья на эксплуатируемых доменных печах путем установки системы теплообменников для нагрева компонентов горения и модернизации воздухонагревателей / **Л. П. Грес, Е. А. Каракаш, С. А. Карпенко, С. В. Колдомасов** // *Металл и литье Украины*. – 2014. – №5-6. – С. 43-47.
 13. **Грес, Л. П.** Теплообменники доменных печей / **Л. П. Грес, А. Е. Каракаш, А. Е. Миленина** / под общ. ред. Л. П. Греса. – Д.: Пороги. – 2012. – 491 с.
 14. **Аверин, С. И.** Расчеты нагревательных печей: учебное пособие / **С. И. Аверин** [и др.]; ред. **Н. Ю. Тайц**. – 2-е изд., испр. и доп. – К. : Техніка. – 1969. – С. 5-17.
 2. **Gres, L. P.** Vysokojeffektivnyj nagrev domennogo dut'ja: Monografija [Highly efficient blast air preheating: Monograph]. Dnepropetrovsk: Porogi, 2008, 492 p.
 3. **Pat. JPS52091711 (A)**, Japan, IPC C21B9/14, C21B9/00. Recovery of waste heat in hot stove of blast furnace / **Nakagawa Koichiro, Moridera Hiromitsu**; appl. Nippon Steel Corporation; 1977-08-02.
 4. **Pat. JPS55125210 (A)**, Japan, IPC C21B9/14, C21B9/00, F27D17/00. Method and apparatus of recovering waste heat of hot stove / **Hatsutori Masayuki; Shibamoto Shingo; Ootake Kazufumi; Fukamachi Kunio**; appl. Nippon Steel Corporation; 1980-09-26.
 5. **Asada Research Laboratory, Kobe Steel, Ltd** A Simulation Program For Energy Saving in Hot Stove System. *Transactions of the Iron and Steel Institute of Japan*, 1986, 26(10), 920, doi:10.2355/isijinternational1966.26.920.
 6. **Vatanakul, M., Cruz, E., McKenna, K., Hynes, R., Sarvinis, J., Swanepoel, J.** Waste Heat Utilization to Increase Energy Efficiency in the Metals Industry, *Energize*, 2011, 72-76, doi: 10.1002/9781118061886.ch1.
 7. **Bisio, G.** First-and second-Law Analyses of Energy Recoveries in Blast-furnace Regenerators. *Energy*, 2012, 21(2), 147-155, doi: 10.1016/0360-5442(95)00103-4.
 8. **Pei-Hsun Lin, Hui-Tien Chen, Wei-Lun Chung** Efficiency Improvement of the Hot Blast Generating System by Waste Heat Recovery. *Energy and Sustainability. WIT PRESS* Southampton, Boston. 2012, 113-121, doi: 10.2495/ESUS070121.
 9. **Nicolás Pardo, José Antonio Moya** Prospective Scenarios on Energy Efficiency and CO₂ Emissions in the European Iron & Steel industry. *Energy*. 2013, 54, 113 – 128, doi: 10.1016/j.energy.2013.03.015.
 10. **Smith, M.** Blast Furnace Ironmaking: View on Future Developments. *Ironmaking and steelmaking*. 2015, 42(10), 734-742, doi: 10.1179/0301923315Z.000000000422.
 11. **K Nagaraja Rao, Chandrashekar Hiregoudar & M. Jeethendrac** Design and Analysis of Waste Heat Recovery System to Improve the Performance of Blast Furnace. *International Journal for Ignited Minds (IJMINDS)*. 2016, 03(03), [Web] http://www.ijiminds.com/allarticles/article_100_0.pdf
 12. **Gres, L. P., Karakash, E. A., Karpenko, S. A., Koldomasov, S. V.** Povyshenie energoeffektivnosti nagreva domennogo dut'ja na jekspluatiruemyh domennyh pechah putem ustanovki sistemy teploobmennikov dlja nagreva komponentov gorenija i modernizacii vozduhonagreva-telej [Energy efficiency improving of hot blast air preheating at exploited blast furnaces by setting a system of heat exchangers for preheating of the combustion components and the modernization of air heaters]. *Metall i lit'e Ukrainy [Metal and casting of Ukraine]*, 2014, 5-6, 43-47.
 13. **Gres, L. P., Karakash, A. E., Milenina, A. E.** Teploobmenniki domennyh pechej [Heat exchangers of blast furnaces]. pod obshh. red. L. P. Gresa. Dnipropetrovsk: Porogi, 2012, 491 p.
 14. **Averin, S. I.** Raschety nagrevatel'nyh pechej : uchebnoe posobie [Calculations of heat-treating furnaces: tex edition] red. **N. Ju. Tajc**. – 2-е изд., испр. i dop. Kyiv: Tehnika [technique], 1969, 540 p.

Bibliography (transliterated)

1. **Majboroda, O. E.** Shljahi pidvishhennja konkurentno-spromozhnosti metalurgijnoi galuzi [Ways of the steel industry competitiveness improvement]. *Visnik NTU «HPI» [Bulletin of NTU "KhPI"]*, 2013, 67 (1040), 46-52.

Відомості про авторів (About authors)

Засць Олена Миколаївна – аспірант кафедри Теплотехніки та енергоефективних технологій, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна, e-mail: helena.lz487@gmail.com

Olena Zaiets – postgraduate student of Department of heat engineering and energy efficiency technologies, National technical university "Kharkiv polytechnic institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail: helena.lz487@gmail.com

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Засць, О. М. Вплив частки коксового газу в паливі на необхідний рівень підігріву повітря горіння доменних повітрянагрівачів при використанні їх теплоти димових газів / **О. М. Засць** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 43-48. – doi:10.20998/2413-4295.2016.42.07.

Please cite this article as:

Zaiets, O. Influence of the coke gas share in the fuel on the required level of heating of blast stoves combustion air using their flue gas heat. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, 42 (1214), 43–48, doi:10.20998/2413-4295.2016.42.07.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Заец, Е. Н. Влияние доли коксового газа в топливе на необходимый уровень подогрева воздуха горения доменных воздухонагревателей при использовании их теплоты дымовых газов / **Е. Н. Заец** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 43-48. – doi:10.20998/2413-4295.2016.42.07.

АННОТАЦИЯ Предложено перед проектированием системы утилизации теплоты дымовых газов доменных воздухонагревателей из теплового баланса сгорания топлива установить взаимозависимость необходимой температуры подогрева воздуха горения воздухонагревателей, и температуры подогрева воздуха и доменного газа, обогащенного коксовым, одновременно от доли коксового газа в топливе. Рассмотрены два температурных периода: летний и зимний. Установлена доля коксового газа, которую можно достичь в результате подогрева компонентов горения доменных воздухонагревателей за счет системы утилизации теплоты дымовых газов воздухонагревателей.

Ключевые слова: воздух горения; коксовый газ; доменный газ; утилизация теплоты; тепловой баланс.

Надійшла (received) 03.11.2016