

Исследование тепловых потерь в доменной печи при вдувании в горн пылеугольного топлива**

Проведены исследования изменения потерь тепла при работе доменной печи с применением пылеугольного топлива (ПУТ). Показано, что применение ПУТ способствует увеличению потерь тепла, по отношению к тепловой мощности печи от 1,15 % (при работе без ПУТ и неизношенной футеровки) до 3,7 % (при расходе ПУТ 187 кг/т чугуна и максимальном износе футеровки). Тепловые потери, отнесенные к тепловой мощности печи за вычетом химического тепла колошниковога газа, увеличиваются соответственно от 2,78 до 8,81 %.

Ключевые слова: доменная технология, пылеугольное топливо, тепловые потери, излучение, конвекция

Замена дорогостоящего кокса пылеугольным топливом (ПУТ) с одновременным выполнением компенсирующих мероприятий (подготовка шихты, повышение температуры дутья, обогащение дутья кислородом) сопровождаются существенным ростом производительности доменных печей (до 50 %).

Вдувание ПУТ сопровождается также интенсификацией тепловых процессов. Сгорание ПУТ, удельная поверхность которого в 300-500 раз больше, чем кокса, сопровождается образованием облака расплавленных частиц золы. В результате резко интенсифицируется (по сравнению со сжиганием кокса) теплообмен излучением в фурменном очаге, следствием чего является, с одной стороны, повышение перегрева продуктов плавки, а с другой стороны, увеличение тепловых потоков и потерь через фурмы и стены вблизи фурм.

Повышение производительности доменных печей при переходе на ПУТ-технологии сопровождается усилением механического, абразивного, химического и теплового воздействия шихты и газов на обмуровку, приводя к уменьшению толщины огнеупорной кладки и стойкости гарнисажа, и, как следствие, к увеличению тепловых потерь.

Методика определения тепловых потоков. Тепловые потоки по нормали к обмуровке стен доменной печи, по сути, являются тепловыми потерями в окружающую среду. По высоте доменной печи следует выделить участки (рис. 1), определение значений расчетных тепловых потоков на которых методически отличается.

Участок 1 – неохлаждаемая верхняя часть шахты. Обмуровка стены состоит из слоя шамота, слоя набивки из шлакоасбестовой массы и стального кожуха.

Тепловой поток определяется по уравнению стационарной теплопередачи [1, 2]:

$$Q = \frac{t_h - t_k}{\frac{1}{\alpha} + R_k + R_m + R_{sh}} \cdot F_1,$$

где t_h – температура начальной стадии теплопередачи, равная температуре шихты на расчетном

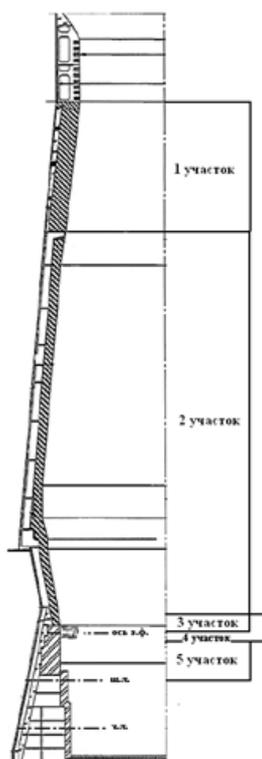
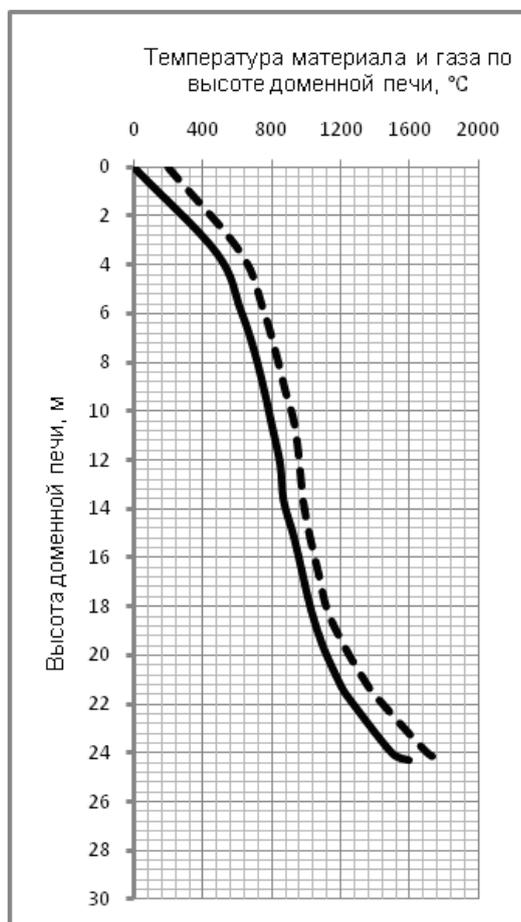


Рис. 1. Изменение температуры шихты (сплошная линия) и газа (пунктирная линия) по высоте доменной печи



** Работа выполнена под руководством профессора Донецкого национального технического университета, д-ра техн. наук С. Л. Ярошевского

уровне (рис. 1), °C; t_k – температура конечной стадии теплопередачи, равная температуре окружающей среды, °C; $1/\alpha$ – внешнее тепловое сопротивление на стадии передачи тепла свободной конвекцией с коэффициентом теплоотдачи (α) от наружной поверхности кожуха к окружающей среде, (м² · K) / Вт; $R = S / \lambda$ – внутреннее тепловое сопротивление, (м² · K)/Вт; λ – коэффициент теплопроводности слоя, Вт/(м · K); F_1 – расчетная поверхность теплопередачи (принимая равной площади наружной поверхности кожуха на высоте участка 1), м²; $R_{ш}$ – тепловое сопротивление слоя шамотной футеровки, зависящей от степени изношенности.

Участок 2 – охлаждаемая часть шахты, распар и заплечики. В настоящей работе анализ тепловых потерь сделан для системы охлаждения, состоящей из холодильных плит, расположенных вплотную к кожуху. Холодильная плита не является однородной и состоит из чугунной основы с пазами, заполненными шамотом, и вмурованного в плиту стального змеевика, по которому циркулирует охлаждающая вода. Внутренняя футеровка состоит из шамота. В случае максимального износа футеровки на поверхности плиты может образоваться слой гарнисажа. Тепловой поток (отдельно для охлаждаемой части шахты, распара и заплечиков) определяется по уровню стационарной теплопередачи [1-3], Вт:

$$Q = \frac{t_h - t_k}{R_{ш} + R_{пл} + R_{гсж}} \cdot F,$$

где t_h – температура начальной стадии теплопередачи, равная температуре шихты у внутренней поверхности стены на расчетном уровне, °C; t_k – температура конечной стадии теплопередачи, равной температуре на линии расположения змеевиков в холодильной плите (температура, определенная по специально разработанному способу, не намного отличается от температуры охлаждающей воды), °C; $R_{ш} = S_{ш} / \lambda_{ш}$ – тепловое сопротивление слоя шамотной футеровки определялось в зависимости от степени износа; $R_{пл} = S_{пл} / \lambda_{пл}$ – тепловое сопротивление плиты; $\lambda_{пл}$ – усредненный коэффициент теплопроводности плиты, определенный по специально разработанному способу, зависящий от объемной и поверхностной доли шамотных пазов, Вт/(м · K); $R_{гсж} = S_{пл} / \lambda_{гсж}$ – тепловое сопротивление слоя гарнисажа.

Влияние расхода ПУТ на тепловые потери на участках 1 и 2 учитывалось по рекомендациям компании Danieli Cogus BV (Эймеден, Нидерланды), основанных на экспериментальных исследованиях профиля с помощью износных стержней и термопар. Компания делает вывод, что тепловые потоки увеличиваются пропорционально производительности печи за счет повышения скорости схода шихты и появлению нерегулярных высокоскоростных периферийных газовых потоков, протекающих между стенкой и шихтой.

Участок 3 – очаг фурменной зоны (рис. 2) – представляет собой полость, окруженную раскаленным коксом, заполненную циркулирующими потоками воздушного дутья, газообразных продуктов горения

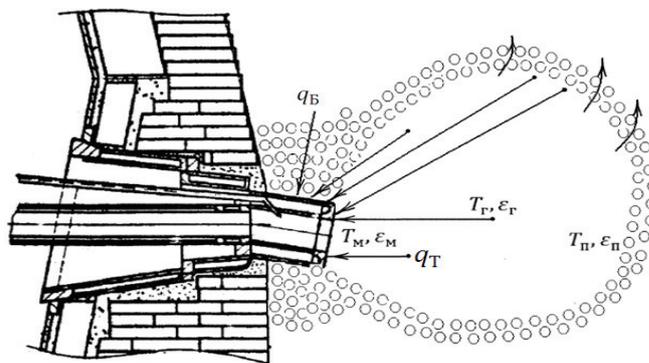


Рис. 2. Расчетная схема фурменной зоны

кокса и ПУТ, частицами расплавленной золы, кокса и каплями жидких продуктов плавки. Торцевая поверхность фурмы воспринимает тепловые потоки конвекцией и излучением из полости фурменного очага; боковая поверхность получает тепловые потоки излучением непосредственно от раскаленного кокса, а также излучение из фурменной зоны, частично экранированное коксом. Оценка доли конвективного теплообмена показала второстепенное значение конвекции, поэтому ниже приводится методика расчета тепловых потоков только излучением по общей расчетной схеме, представленной на рис. 2.

Плотность теплового потока излучением q_r (Вт/м²) на медную торцевую поверхность (м – медь) можно представить как сумму от газового объема (г – газ) $q_{гм}$ и от внутренней поверхности (п – поверхность) полости фурменной зоны (ФЗ) $q_{пм}$

$$q_r = q_{гм} + q_{пм}.$$

Плотность тепловых потоков излучением определяются по закону Стефана-Больцмана [3,4].

$$q_{гм} = \varepsilon_{гм} \cdot \sigma_0 \cdot (T_r^4 - T_m^4),$$

$$q_{пм} = \varepsilon_{пм} \cdot \sigma_0 \cdot (T_n^4 - T_m^4),$$

где T_r , T_n , T_m – температуры газового объема ФЗ, поверхности ФЗ и медной поверхности фурмы, K; $\sigma_0 = 5,67 \cdot 10^{-6}$, Вт/(м² · K) – коэффициент излучения абсолютно черного тела; $\varepsilon_{гм}$ – приведенная степень черноты системы газ-медь; $\varepsilon_{пм}$ – приведенная степень черноты системы поверхность-медь. $\varepsilon_{гм}$ и $\varepsilon_{пм}$ определяются по формулам Тимофеева [4].

$$\varepsilon_{гм} = \frac{\varepsilon_r \cdot \varepsilon_n \cdot (1 + \phi_{пм} \cdot (1 - \varepsilon_r) \cdot (1 - \varepsilon_r))}{B},$$

$$\varepsilon_{пм} = \frac{\varepsilon_n \cdot \varepsilon_m \cdot (1 - \varepsilon_r)}{B},$$

$$B = 1 - (1 - \varepsilon_r) \cdot (1 - \varepsilon_n) \times \\ \times (\phi_{пн} + \phi_{пм} \cdot (1 - \varepsilon_r) \cdot (1 - \varepsilon_m)),$$

где $\phi_{пн}$, $\phi_{пм}$ – угловые коэффициенты поверхность-поверхность, поверхность-медь.

$$\phi_{пм} = \frac{F_m}{F_m + F_n}, \quad \phi_{пн} = \frac{F_n}{F_m + F_n},$$

где F_m, F_n – площади поверхностей ФЗ и меди; ε_m – степень черноты меди (определяется по справочникам для окисленной меди); ε_n – степень черноты поверхности (определяемая как среднемассовая степень черноты кокса и продуктов плавки); ε_r – степень черноты газа, то есть газового объема полости ФЗ. Определяется по специально разработанной методике подробно изложенной в работе [6].

В основе методики лежит способ определения коэффициента поглощения запыленного потока, предложенного С. С. Кутателадзе и В. М. Борщанским [5]. Степень черноты, равная коэффициенту поглощения, определяется в зависимости от концентрации ПУТ частиц золы после сгорания.

Плотность теплового потока излучением на боковую поверхность фурмы q_b (Вт/м²) определяется как сумма потоков от раскаленного кокса (к – кокс) $q_{км}$ и экранированное коксом от газового объема ФЗ $q_{гм}$:

$$q_b = q_{км} + q_{гм},$$

$$q_{км} = \varepsilon_{км} \cdot \sigma_0 \cdot (T_k^4 - T_m^4),$$

$$q_{гм} = \varepsilon_{гм} \cdot \sigma_0 \cdot (T_r^4 - T_m^4).$$

Приведенная степень черноты системы кокс-медь одинакова для всех расходов ПУТ и равна [3, 4].

$$q_{гм} = \varepsilon_{гм} \cdot \sigma_0 \cdot (T_r^4 - T_m^4),$$

$$\varepsilon_{гм} = \varepsilon_k \cdot \varepsilon_m.$$

Приведенная степень черноты системы газ-экран-медь.

$$\varepsilon_{гм} = \varepsilon_{гм}^{торц} \cdot \beta_{экр},$$

где $\beta_{экр}$ – часть измерения газового объема ФЗ, достигающего боковой поверхности через слой кокса.

Участок 4 – стены фурменной зоны (рис. 3) – представляет примыкающей к фурме участок стены высотой 1,5 м и шириной, равной шагу фурм. Особенностью участка 4 является существенное влияние охлаждаемых амбразур на тепловые потоки. Для повышения точности расчета участок разделен на уровни: 1 и 6, где влияние амбразур не существенно; 2 и 5, где влияние амбразур значительно; 3 и 4, где влияние амбразур наиболее сильно. При расчете тепловых потоков принято, что стены находятся в непосредственном контакте с раскаленным коксом, а излучение из газового объема фурменной зоны практически полностью экранировано слоем кокса.

Плотность теплового потока для участка 4 определяется как теплопередача от слоя кокса через слой огнеупорной футеровки к охлаждающему элементу [3, 4], Вт/м²

$$q = \frac{t_n - t_k}{\frac{1}{\alpha} + R_{ш}},$$

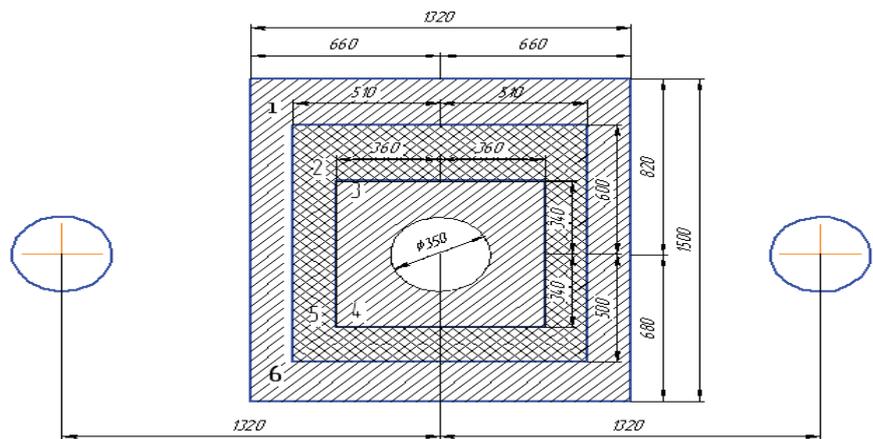


Рис. 3. Участки стен фурменной зоны

где t_n – температура начальной стадии теплопередачи, принимается равной температуре раскаленного кокса, °С; t_k – температура конечной стадии теплопередачи, принимается равной температуре охлаждаемого элемента, °С; $1/\alpha$ – внешнее тепловое сопротивление передачи тепла от кокса к поверхности футеровки, принимается равным нулю, так как температуры кокса и поверхности стены практически равны; $R_{ш} = S_{ш} / \lambda_{ш}$ – тепловое сопротивление слоя огнеупорной футеровки (шамота), (м² · К)/Вт, $S_{ш}$ – толщина слоя шамота на расчетном уровне, принималась как кратчайшее расстояние от расчетного уровня до охлаждающего элемента (холодильной плиты, амбразуры).

Анализ результатов. Тепловые потери рассчитаны для печи объемом 1501 м³ для различной степени износа футеровки (0, 30, 50, 100 %) и расхода ПУТ: 0, а также 142 и 187 кг/т чугуна.

Интенсивность тепловых потоков (и тепловых потерь) характеризуется плотностью теплового потока q (Вт/м²). Мощность тепловых потоков (и тепловых потерь) определяется как произведение плотности тепловых потоков q на площадь поверхности теплообмена F , м².

$$Q = q \cdot F.$$

В неохлаждаемой части шахты (участок 1) высотой $h = 5,0$ м и поверхностью $F = 140$ м² при температуре шихты 470-710 °С тепловые потери относительно невысоки и представлены в табл. 1.

В охлаждаемой части шахты, распаре и запличиках (участок 2) тепловые потоки пропорциональны температуре шихты. Плотности и мощности тепловых потоков приведены в табл. 2.

Тепловые потери при различном расходе ПУТ принимались пропорционально росту производительности печи.

Расход ПУТ, кг/т чугуна	0	142	187
Производительность, %	100	116	136

Тепловые потери в зависимости от расхода ПУТ и степени износа футеровки представлены на рис. 4. Тепловые потери при максимальном износе футеровки возрастают в 4-5 раз. Значения расчетных

Таблица 1

Тепловые потери в неохлаждаемой части шахты: q , кВт/м²; Q , МВт

Износ футеровки	Показатели	Расход ПУТ, кг/т чугуна		
		0	142	187
0	$q_{ср}$	0,243	0,282	0,330
	Q	0,035	0,040	0,046
50	$q_{ср}$	0,276	0,320	0,375
	Q	0,039	0,045	0,053

Таблица 2

Тепловые потери на охлаждаемых участках при расходе ПУТ 0 кг/т: q , кВт/м²; Q , МВт

Участок	h , м	F , м ²	$t_{щ}$, °С	Износ 0 %		Износ 100 % гарнисаж		Износ 100 % без гарнисажа	
				q	Q	q	Q	q	Q
	–	–	710	0,3	–	4,0	–	5,4	–
Шахта	10,0	312	–	–	0,56	–	2,34	–	2,99
	–	–	1040	3,3	–	11,0	–	13,7	–
Распар	1,3	43	–	–	0,15	–	0,49	–	0,61
	–	–	1100	3,6	–	11,3	–	14,4	–
Запечки	4,3	167	–	–	0,80	–	2,25	–	2,84
	–	–	1450	4,8	–	13,5	–	19,6	–
Сумма	–	–	–	–	1,51	–	5,08	–	6,44

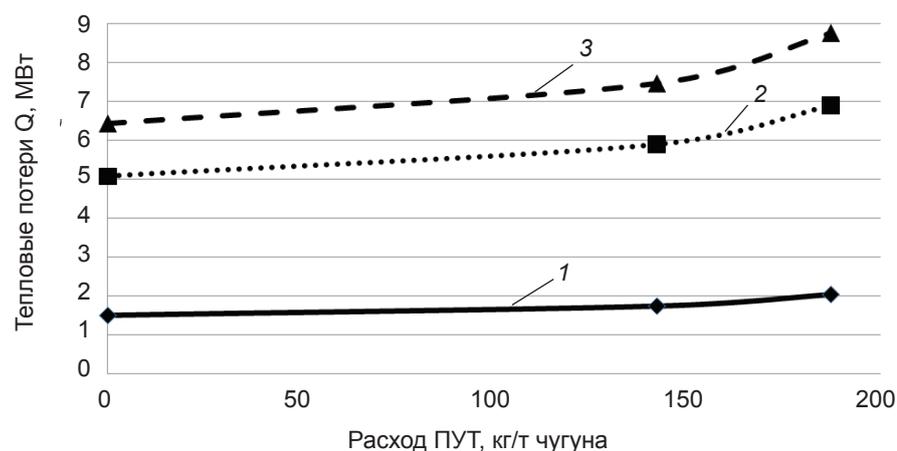


Рис. 4. Расчетные тепловые потери в охлаждаемой части (участок 2) в зависимости от расхода ПУТ и степени износа футеровки: 1 (отчет снизу вверх) – 0 % степени износа; 2 – 100 % износа футеровки + гарнисаж; 3 – 100 % износа футеровки без гарнисажа

тепловых потерь должно использоваться при разработке систем охлаждения.

В фурменной зоне (участок 3) значения тепловых потерь на фурмы определяются, главным образом, излучением из газового объема. Приводимые ниже результаты расчета выполнены для условий: температура газового объема $t_g = 2000$ °С; кокса, окружающего поверхность ФЗ, $t_n = 1500$ °С; медной поверхности $t_m = 30$ °С. Расчетные тепловые потоки на фурмы приведены в табл. 3. Плотность тепловых потоков излучением из газового объема возрастает по мере увеличения расхода ПУТ за счет увеличения степени черноты; в то же время излучение от внутренней поверхности ФЗ ослабевает, так как сжигается луче-

прозрачность ФЗ с увеличением степени ее черноты. Суммарные тепловые потери на фурмы резко возрастают с применением ПУТ в 2,0-2,5 раза.

Результаты расчета тепловых потоков на стены ФЗ приведены в табл. 4.

Расчеты выполнены для полностью сохраненной футеровки, а также футеровки, изношенной на 30 %. Для последнего случая принято, что часть стальной амбразуры оголена, и тепловые потоки определялись по методике расчета выступающих частей фурм. Изменение тепловых потоков в зависимости от расхода ПУТ принято пропорционально изменению производительности печи.

Влияние расхода ПУТ на тепловые потери при различном износе футеровки показано на рис. 5. Наибольшие тепловые потери сосредоточены в фурменной зоне, доля которых составляет 62-72 % от потерь для печи в целом при неизношенной футеровке и при максимальном износе.

Тепловые потери по отношению к тепловой мощности печи (химическое тепло кокса и ПУТ) возрастает от 1,15 % при работе без ПУТ и неизношенной футеровки до 3,7 % при расходе ПУТ 187 кг/т чугуна и максимальном износе футеровки. Тепловые потери, отнесенные к тепловой мощности печи за вычетом химического тепла колошникового газа увеличивается соответственно от 2,78 до 8,81 %.

Выводы

Промышленное применение ПУТ сопровождается повышенными тепловыми потерями в окружающую среду как результат интенсификации работы печей. Вдувание

ПУТ в фурменную зону резко повышает тепловое излучение за счет появления светящегося факела с высокой степенью черноты. Результатом является перегрев продуктов плавки в горне, перераспределение температур по высоте печи, а также значительное увеличение тепловых потерь.

Расчеты, выполненные по разработанной методике, показали, что тепловые потери печи возрастают от 5,22 МВт при расходе ПУТ 0 кг/т чугуна до 8,17 МВт и 9,63 МВт при расходах ПУТ 142 и 187 кг/т чугуна соответственно, при неизношенной футеровке стен печи. Основные потери тепла сосредоточены в нижней части печи: запечках 0,78; 0,90; и 1,06 МВт, при расходах ПУТ 0; 142 и 187 кг/т чугуна соответственно. В зоне

Тепловые потери на фурмы

Расход ПУТ, кг/т чугуна		0	142,00	187	
Степень черноты ФЗ, ε_T		0,02	0,41	0,69	
ε_n		0,47	0,46	0,56	
Торцевая поверхность, $F_T = 0,102 \text{ м}^2$	Приведенные степени черноты	$\varepsilon_{гм}$	0,01	0,36	
		$\varepsilon_{гм}$	0,52	0,21	
	Плотность тепловых потоков, кВт/м ²	$q_{гм}$	18,2	545,00	757,00
		$q_{гм}$	291,3	118,00	47,50
	$q_T = q_{км} + q_{гм}$		309,5	669,00	804,50
Мощность тепловых потерь Q, МВт	1 фурма	0,034	0,070	0,08	
	20 фурм	0,680	1,404	1,692	
Боковая поверхность, $F_B = 0,89 \text{ м}^2$	Приведенные степени черноты	$\varepsilon_{гм}$	0,23	0,23	
		$\varepsilon_{гм}$	0,0024	0,0720	0,1001
	Плотность тепловых потоков, кВт/м ²	$q_{гм}$	130	130	130
		$q_{гм}$	3,6	109	151
	$q_B = q_{км} + q_{гм}$		133,6	239	181
	Мощность тепловых потерь Q, МВт	1 фурма	0,118	0,212	0,250
20 фурм		2,38	4,24	5,00	
Суммарные тепловые потери, МВт		3,05	5,64	6,69	

Таблица 4

Тепловые потоки на стены фурменной зоны

Расход ПУТ, кг/т чугуна		0		142		187	
q , кВт/м ² ; Q, кВт		q	Q	q	Q	q	Q
Шамотная футеровка не изношена	Уровень 1	3,26	1,53	3,78	1,79	4,44	2,08
	2	5,55	1,83	6,44	2,12	7,55	2,49
	3+4	11,70	4,60	13,57	5,34	15,91	6,26
	5	4,90	1,30	5,68	1,51	6,66	1,76
	6	2,25	0,81	2,61	0,94	3,06	1,10
	сумма, кВт	на 1 ФЗ		10,07		11,69	
на 20 ФЗ			201,00		234,00		274,00
Футеровка изношена на 30 %, оголена часть стальной амбразуры и медная фурма	Уровень 1	4,24	1,99	4,91	2,31	5,77	2,71
	2	7,21	2,74	8,37	3,18	9,81	3,73
	3+4	118	46,50	212	83,5	250	98,5
	5	6,31	1,67	7,38	1,96	8,59	2,28
	6	2,92	1,05	3,39	1,22	3,98	1,44
	сумма, кВт	на 1 ФЗ		53,95		92,19	
на 20 ФЗ			1079,00		1844,00		2162,00

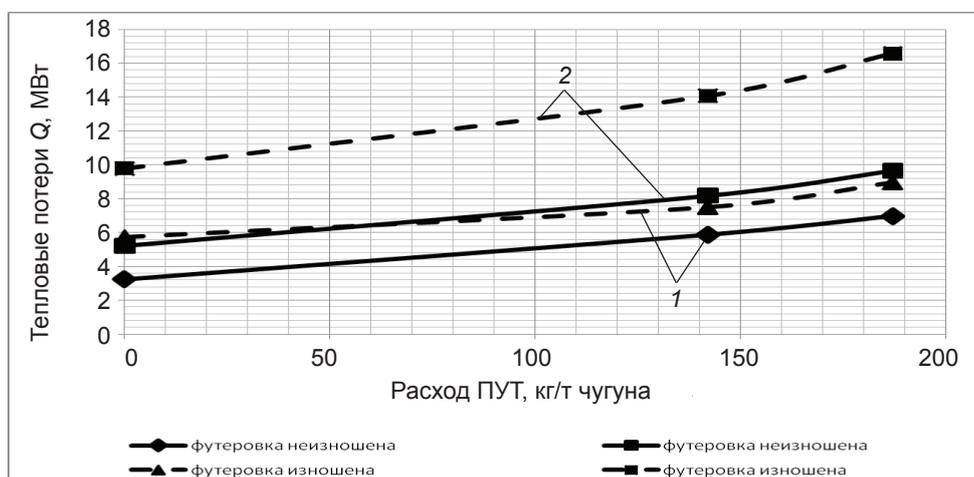


Рис. 5. Изменение тепловых потерь в фурменной зоне и по печи в целом (1 – для всей печи; 2 – для ФЗ)

воздушных фурм потери тепла составили 3,04; 5,64 и 6,69 МВт при расходах ПУТ 0; 142 и 187 кг/т чугуна.

На тепловые потери существенное влияние оказывает износ футеровки. Наибольшее значение потерь в случае практически полного износа шамотной футеровки и образования гарнисажа при расходах

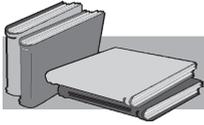
ПУТ 187 кг/т чугуна достигают 16,6 МВт, что составляет 8,8 % от тепловой мощности печи.

Приведенная методика и результаты исследования тепловых потерь могут быть использованы при разработке систем охлаждения доменной печи.

Таблица 5

Сводная таблица суммарных тепловых потерь при 100, 50 % футеровки и полном износе футеровки с образованием гарнисажа

100 % футеровки	Расход ПУТ, кг/т чугуна	0	142	187
	Тепловая мощность печи $Q_{общ}$, МВт	450	450	450
	Тепловая мощность без колошниковога газа $Q_{БКГ}$, МВт	188	188	188
	Потери по участкам печи, кВт (%)			
	Неохлаждаемая часть шахты	35(100)	40(116)	48(136)
	Охлаждаемая часть шахты	881(100)	1021(116)	1198(136)
	Распар	187(100)	216(116)	254(136)
	Запечки	776(100)	900(116)	1055(136)
	Стены ФЗ	201(100)	234(116)	274(136)
	Фурмы	3042(100)	5644(185)	6692(219)
	Низ горна	93(100)	108(116)	124(136)
	Всего, кВт	5216(100)	8163(156)	9644(184)
	% к $Q_{общ}$	1,15	1,82	2,14
% к $Q_{БКГ}$	2,78	4,35	5,13	
50 % футеровки	Потери по участкам печи, кВт (%)			
	Неохлаждаемая часть шахты	40(115)	46(131)	52(148)
	Охлаждаемая часть шахты	1282(145)	1487(168)	1643(186)
	Распар	296(158)	343(183)	402(214)
	Запечки	1208(155)	1401(180)	1642(211)
	Стены ФЗ (30 %)	1679(895)	1844(917)	2162(1075)
	Фурмы	3042(100)	5644(185)	6692(219)
	Низ горна	133(143)	154(165)	181(194)
	Всего, кВт	7080(135)	10919(209)	12774(244)
	% к $Q_{общ}$	1,57	2,43	2,83
% к $Q_{БКГ}$	3,77	5,81	6,79	
0 % футеровки + гарнисаж	Потери по участкам печи, кВт			
	Неохлаждаемая часть шахты (50 %)	40(115)	46(131)	52(148)
	Охлаждаемая часть шахты	2773(314)	3217(365)	3771(428)
	Распар	578(309)	670(358)	786(420)
	Запечки	2149(276)	2493(321)	2923(376)
	Стены ФЗ (30 %)	1679(895)	1844(917)	2162(1075)
	Фурмы	3042(100)	5644(185)	6692(219)
	Низ горна	133(143)	154(165)	181(194)
	Всего, кВт	9794(187)	14068(269)	16567(317)
	% к $Q_{общ}$	2,17	3,13	3,68
% к $Q_{БКГ}$	5,21	7,48	8,81	



ЛИТЕРАТУРА

1. *Исаченко В. П.* Теплопередача: Учебник для вузов / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел – М.: Энергоиздат, 1981. – 416 с.
2. *Курбатов Ю. Л.* Теплотехника металлургического производства / Ю. Л. Курбатов, О. В. Новикова, Ю. Е. Василенко – Донецк: Ноулідж, 2013. – 227 с.
3. *Курбатов Ю. Л.* Металургические печи / Ю. Л. Курбатов, Ю. Е. Василенко – Донецк: ГВУЗ “ДонНТУ”, 2013. – 388 с.
4. *Казанцев В. И.* Промышленные печи. Справочное руководство для расчетов и проектирования / В. И. Казанцев. – М.: Металлургия, 1975. – 368 с.
5. *Кутателадзе С. С.* Справочник по теплопередаче / С. С. Кутателадзе, В. М. Борщанский – М.: Энергоиздат, 1958.
6. *Ярошевский С. Л.* Влияние пылеугольного топлива на степень черноты фурменной зоны и тепловой режим горна доменной печи / С. Л. Ярошевский, Ю. Л. Курбатов, И. В. Мишин, А. В. Кузин. – М.: Металлург. – № 4. – 2013. – С. 48-53.

Анотація

Андрєєв В. І., Поздняков О. В., Курбатов Ю. Л., Мішин І. В., Пікалов Д. С.
Дослідження теплових втрат в доменній печі при вдуванні в горн пиловугільного палива

Проведено дослідження зміни втрат тепла при роботі доменної печі з застосуванням пиловугільного палива (ПВП). Показано, що застосування ПВП сприяє збільшенню утрат тепла по відношенню до теплової потужності печі від 1,15 % (при роботі без ПВП і незношеної футеровки) до 3,7 % (при витраті ПВП 187 кг / т чавуну і максимальному зносі футеровки). Теплові втрати, віднесені до теплової потужності печі за винятком хімічного тепла колошникового газу збільшуються відповідно від 2,78 до 8,81 %.

Ключові слова

доменна технологія, пиловугільне паливо, теплові втрати, випромінювання, конвекція

Summary

Andreev V. I., Pozdnyakov A. V., Kurbatov Yu. L., Mishyn I. V., Pikalov D. S.
Study of heat losses in the blast furnace by blowing a horn pulverized coal

Researches change heat loss during operation of the blast furnace using coal fuel were carried out. Shown that the use of pulverized coal (PC) increases heat loss in relation to the thermal capacity of the furnace from 1,15 % (under working without PC and unworn lining up) to 3,7 % (at a flow rate of PC 187 kg / t of pig iron and maximum wear lining). Heat losses related to thermal capacity of the furnace without chemical heat of blast furnace gas increases from 2,78 to 8,81% .

Keywords

blast furnace technology, PC, heat loss, radiation, convection

Поступила 26.03.14