

УДК 669. 162

д.т.н. Новохатский А. М.,
к.т.н. Должиков В. В.,
к.т.н. Диментьев А. О.,
Падалка А. В.
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПЫЛЕУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА И МЕТОДИК РАСЧЁТА НА ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ГОРЕНИЯ

Проведён анализ влияния технического и элементарного состава углей, вдуваемых в доменную печь, а также методик расчёта на определение теоретической температуры горения топлива в доменной печи.

Ключевые слова: доменная печь, расчётные параметры доменной плавки, теоретическая температура горения топлива, характеристики пылеугольного топлива, методики расчёта теоретической температуры.

Проблема и её связь с научными и практическими задачами.

Теоретическая температура горения (t_r) — один из важных расчётных параметров доменной плавки, необходимых для технологического анализа. Её абсолютные значения и изменения позволяют оценивать тепловые и газодинамические условия, складывающиеся в нижней части доменной печи.

Методика расчёта t_r , основанная на тепловом балансе зоны горения топлива в горне, в целом не вызывает сомнений и описана достаточно подробно в литературе [1–5]. Для составления баланса используют:

- ряд постоянно контролируемых параметров дутья и вдуваемого через фурмы дополнительного топлива;
- физические характеристики веществ и процессов в зоне горения, принимаемые по справочным данным;
- различные допущения, количество которых варьируется в широких пределах (упрощение температурных зависимостей теплоёмкостей газов; адиабатность процессов в зоне; постоянство физико-химических характеристик дополнительного топлива; пренебрежение теплотой окисления чугуна, проходящего через зону и т. д.).

В связи с существующей экономической ситуацией доменные печи переводятся на

работу с вдуванием пылеугольного топлива (ПУТ). Значительное влияние вдувания ПУТ на теоретическую температуру определяется в первую очередь его расходом. Существенно влияние качества углей, определяемое результатами элементарного и технического анализов, а также теплотой сгорания, и количество транспортирующего азота. В перспективных технологических вариантах в дутьевую фурму подают «холодный» кислород, обеспечивающий интенсификацию горения ПУТ.

Изложение материала и его результаты.

Рассмотренные методики [1–3] учитывают количество ПУТ, поступающего в доменную печь, но не уделяют достаточного внимания характеристикам качества углей и сопутствующих газов (имеется в виду транспортирующий азот и кислород для интенсификации горения ПУТ).

При использовании ПУТ авторы [1] предлагают принимать во внимание характеристики некоторых углей путём использования коэффициентов, отражающих усреднённый состав по маркам и определённым месторождениям, а теплоту сгорания оценивать по формуле Менделеева. В итоге последующие обобщения вариантов плавки приводят к конечной формуле:

$$t_T = \{0,9341t_d + 8208\omega - \varphi(2402 - 1,2177t_d) - (1,9322 + 2,235W^P)S_{ж} - \\ - (0,39 + 2,2175C_T^P)S_{ТВ} - 2673S_T + 94,76\} / \{1 + \omega + 2\varphi + (0,0012 + 0,0013W^P)S_{ж} + \\ + 0,0005S_{ТВ} + 2,026S_T\}, \quad (1)$$

где t_d , φ , ω — параметры дутья: температура, °C; влажность, m^3/m^3 ; содержание кислорода, m^3/m^3 ;

$S_{ж}$, $S_{ТВ}$, S_T — расход жидкого, твёрдого (кг) и газообразного (m^3) вдуваемого топлива на 1 m^3 сухого дутья;

C_T^P — содержание углерода, в элементарном составе рабочей массы топлива (кг/кг).

Качество углей в этой формуле детализируется единственной характеристикой — количеством углерода по результатам элементарного анализа (C_T^P). Дополнительный учёт золы кокса и ПУТ, а также летучих веществ ПУТ в балансах приводит к формулам [5]. Влияние сопутствующих газов игнорируется. На некоторых предприятиях формула корректируется: например, в ПАО «Алчевский металлургический комбинат» формула скорректирована на подачу интенсифицирующего кислорода.

В [2] в общем виде приведено уравнение для расчёта теоретической температуры без конкретных указаний как рассчитать влияние качества ПУТ. Влияние сопутствующих газов также игнорируется. Для практического использования предлагается линейное уравнение, следуя которому при реальных значениях вдуваемых количеств ПУТ можно получить отрицательное значение теоретической температуры.

Предложенная в [3] методика учитывает расход транспортирующего азота, ориентирована на расчёт теоретической температуры при вдувании газовых углей, принимает во внимание количество летучих веществ в угле (с некоторыми допущениями по составу) и содержание золы.

Только методика, изложенная в [4], предусматривает полное использование информации об углях, полученной элементарным и техническим анализами. Также

предполагается учёт влияния холодных сопутствующих газов на значение теоретической температуры.

Авторами [3] были выполнены расчёты для условий работы ДП № 1 Донецкого металлургического завода: V_d — расход дутья 2021 m^3 /мин.; t_d — 1067 °C; ω — 22,5 %; φ — 1 %. Как показатели качества пылеугольного топлива приняли: A — содержание золы 9 %; V^d — выход летучих веществ (на сухую массу) — 24 %. Удельный расход транспортирующего азота (Q_{N_2}) составлял 0,75 m^3 /кг ПУТ. При расходе ПУТ 100 кг/т чугуна t_T составила 2170 °C.

По приведённым выше данным были выполнены расчёты рассмотренными методами с использованием имеющихся сведений о некоторых марках вдуваемых углей. В таблице 1 приведены результаты их элементарного и технического анализов (Q_s^{daf} — высшая теплота сгорания; Q_i^r — низшая теплота сгорания; A^d — содержание золы; V^d — содержание летучих веществ).

Отбор и анализ нескольких проб по марке позволил оценить колебания соответствующей характеристики. Отклонения от среднего значения (по марке), составили (в % отн.): по углероду и кислороду — до 2 %, водороду и азоту — до 12 %, сере — до 90 %, золе — до 15 %, летучим веществам — до 50 %. Оказалось, что колебания значений характеристик углей в пределах одной марки могут превышать различия, обусловленные разными марками.

Рассчитанные по формулам [3], [4], [5] с корректировками АМК (далее обозначена [5]') значения t_T показаны в таблице 2.

Учёт количества ПУТ и характеристик углей определяет снижение теоретической температуры на 60–100 °C по [3], на 35–120 °C по [4], на 155–170 °C по [5]'.

МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Таблица 1

Результаты элементарного и технического анализов углей для приготовления ПУТ
(средние по выборкам)

Марки углей / Кол-во проб	Элементный состав, %					Q_s^{daf} , МДж/кг	Q_i^r , МДж/кг	A^d , %	V^d , %
	C^{daf}	H^{daf}	N^{daf}	S_t^d	O^{daf}				
ГЖО/5	83,26	5,30	2,03	0,33	9,07	33,75	27,14	10,2	32,9
СС/3	89,21	4,92	2,29	0,46	3,12	35,58	31,50	7,1	21,2
Т/4	86,85	3,90	1,57	1,23	6,48	32,90	25,99	12,6	18,4

Таблица 2

Теоретическая температура горения (°С) для углей ПУТ, рассчитанная по методикам [3], [4], [5]', расход ПУТ 100 кг/т чугуна

Угли	без ПУТ и газов			без газов с ПУТ			Расход азота 0,75 м³/кг ПУТ			Расход азота 0,75 м³/кг ПУТ, кислорода — 0,5 м³/кг ПУТ		
	методики											
	[3]	[4]	[5]'	[3]	[4]	[5]'	[3]	[4]	[5]'	[3]	[4]	[5]'
ГЖО	2300	2301	2351	2217	2266	2197	2138	2186	2200	2115	2274	2344
СС				2241	2237	2181	2161	2160	2184	2142	2245	2325
Т				2197	2181	2184	2162	2219	2188	2142	2309	2329

Дополнительный учёт транспортирующего азота вызывает добавочное снижение теоретической температуры на 65–80 °С по [3], на 40–80 °С по [4]. По [5]' влияние транспортирующего азота не учитывается.

С учётом расхода интенсифицирующего кислорода сопутствующее повышение теоретической температуры достигает 85–90 °С по [4], на 110–145 °С по [5]'. По [3] влияние интенсифицирующего кислорода не учитывается. Приведённые значения изменения теоретической температуры округлены до ближайшего значения, кратного 5.

Расчёты по методике [4] показывают наибольшую чувствительность значений теоретической температуры к изменениям характеристик углей ПУТ по маркам (до 85 °С). Влияние элементарного состава углей и теплоты сгорания на теоретиче-

скую температуру в методике [4] определяется расчётом энтальпии ПУТ.

Для углей одной марки по разным пробам различия в теоретической температуре горения также достаточно велики. Это иллюстрируется рисунком 1, где показаны значения теоретической температуры горения для углей ГЖО.

Исследование влияния отдельных характеристик углей показало, что уменьшение содержания водорода повышает теоретическую температуру горения. Влияние остальных характеристик углей противоречиво (рис. 2). Так, увеличение теплоты сгорания повышает t_i в пределах анализов одной марки, но снижает при сравнении разных марок. Увеличение содержания золы повышает t_i при сравнении разных марок, но оказывает противоречивое влияние при сравнении в

пределах одной марки. Увеличение содержания летучих веществ повышает t_i при сравнении в пределах одной марки и противоречиво при сравнении разных марок.

Полученные результаты показывают необходимость постоянного контроля характеристик дущаемых углей.

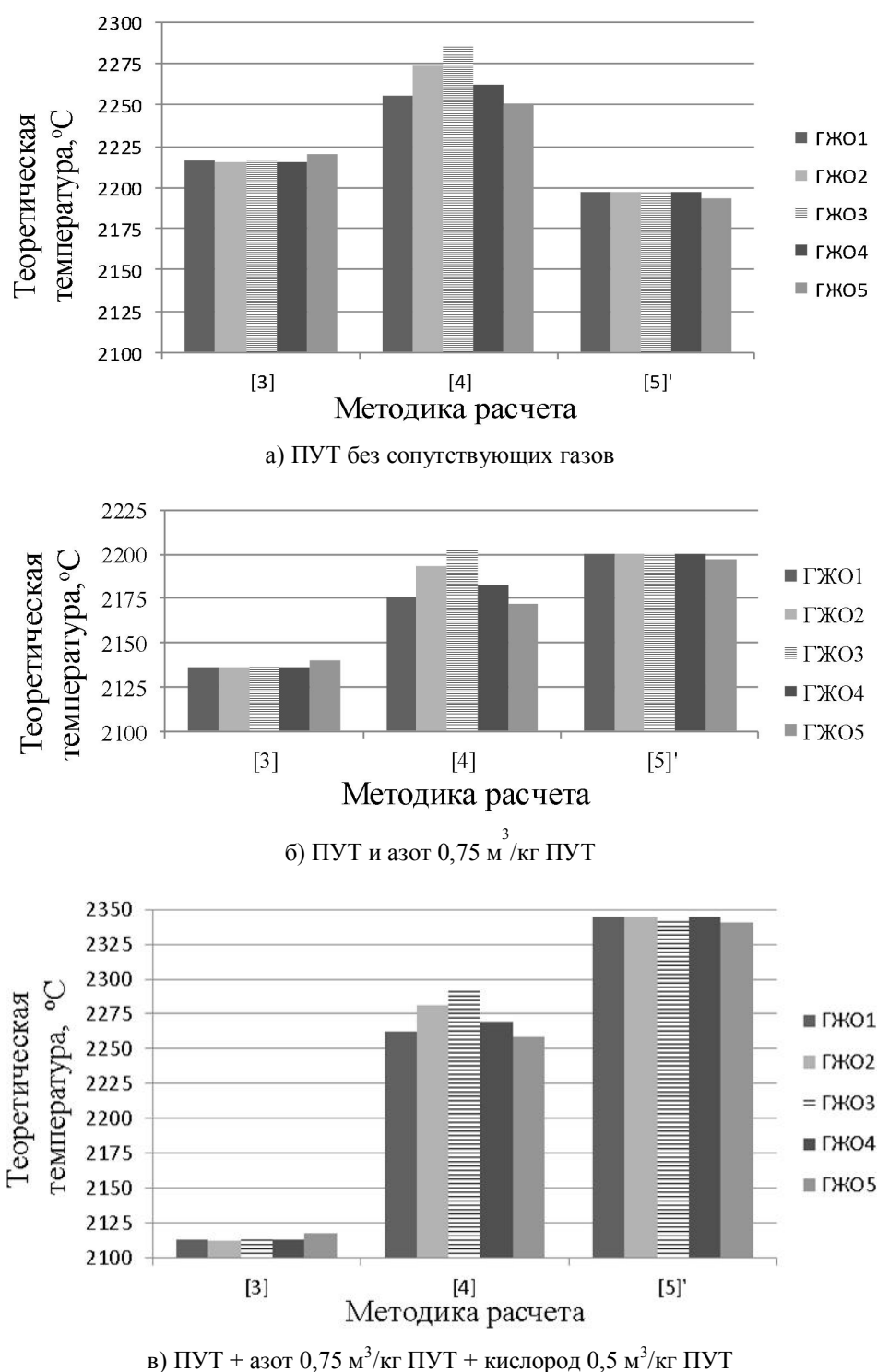


Рисунок 1 Теоретическая температура горения для углей ГЖО, расход ПУТ 100 кг/т чугуна

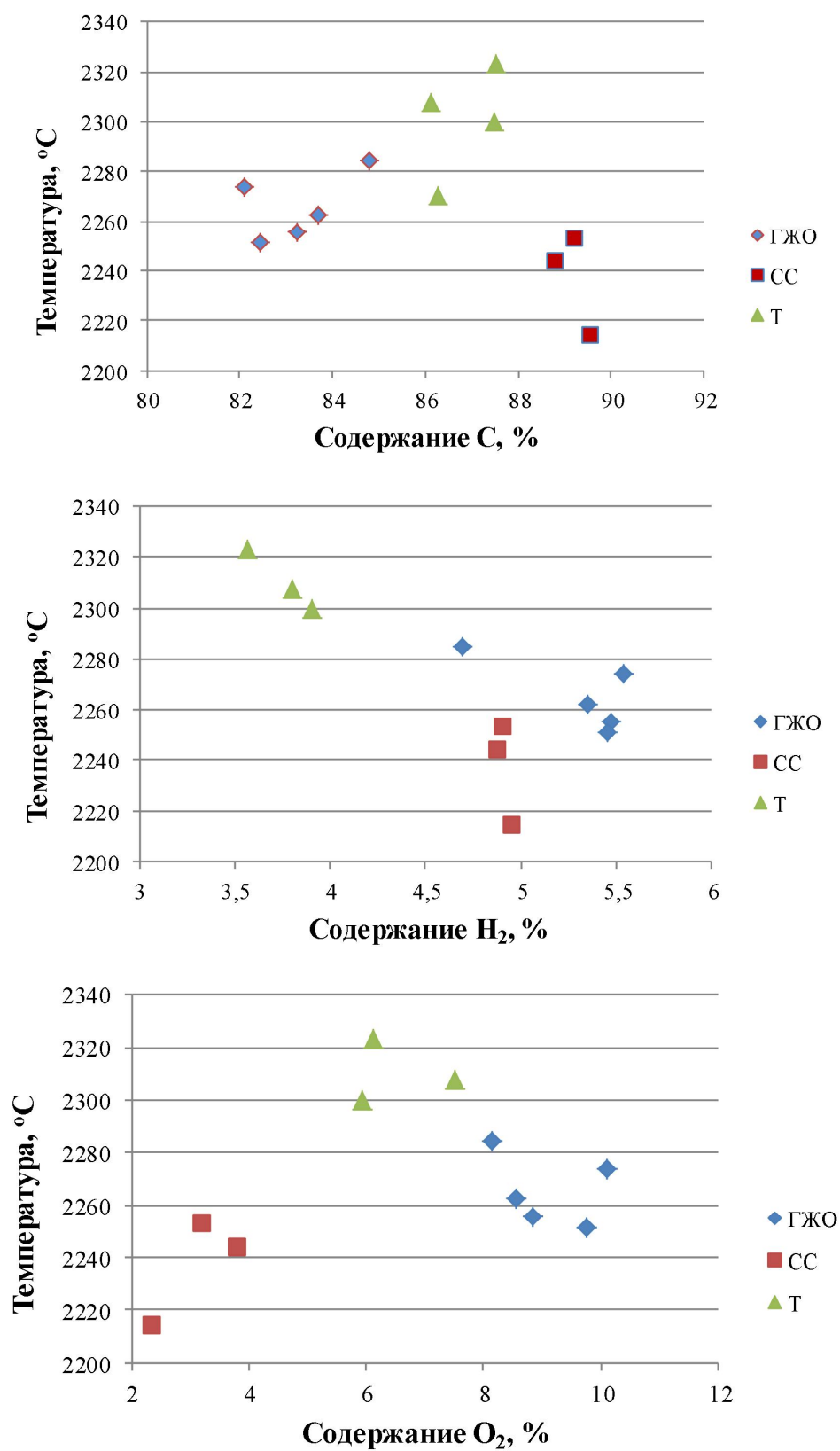
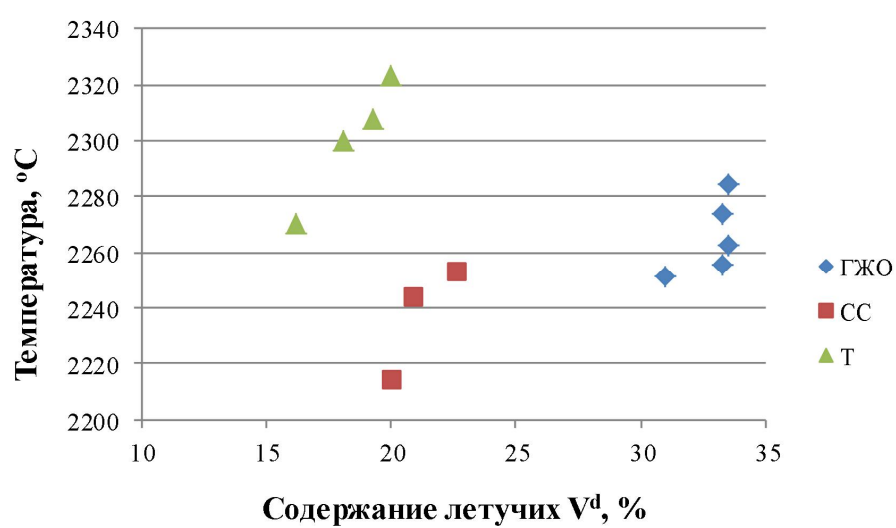
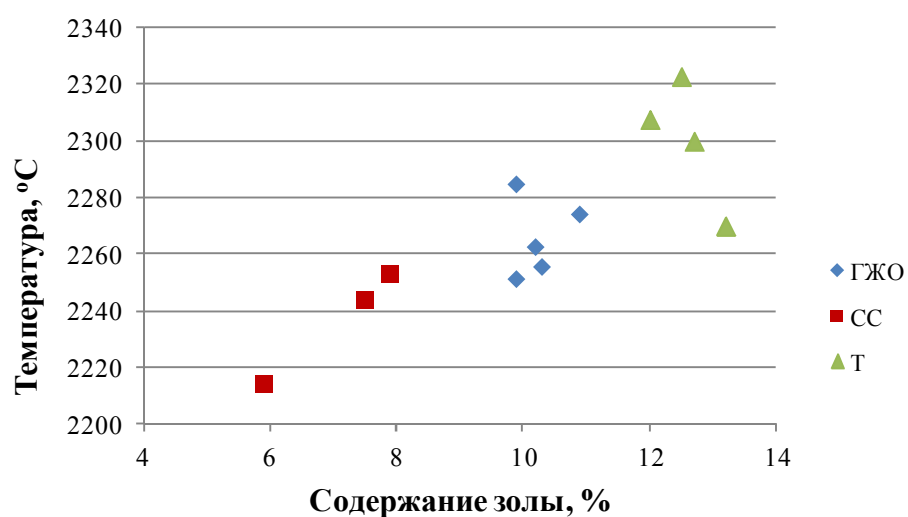
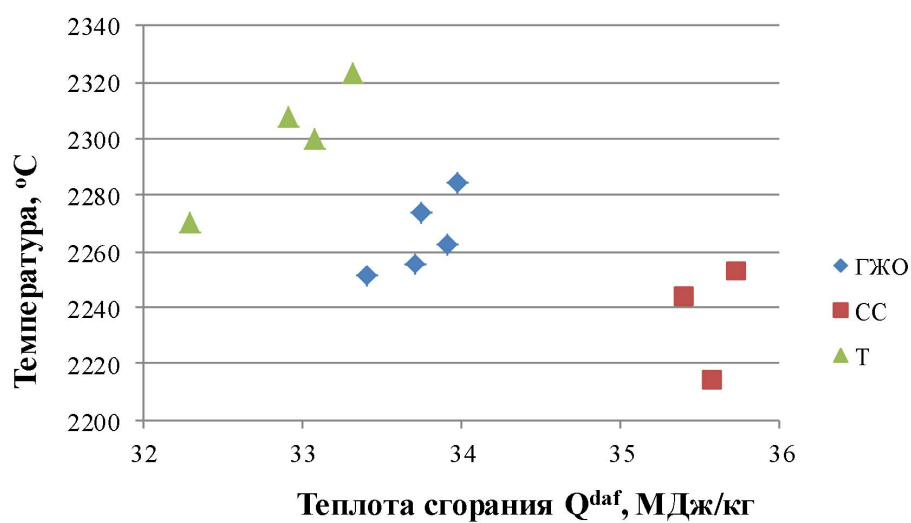


Рисунок 2 Влияние характеристик углей на теоретическую температуру



Продолжение рисунка 2

Выводы и направление дальнейших исследований.

Различные методики расчёта определяют разные значения как теоретической температуры, так и её колебания под влиянием изменений технологических параметров вдувания ПУТ.

Влияние на теоретическую температуру расходов транспортирующего азота и интенсификатора-кислорода при вдувании ПУТ достаточно велико. В исследованных условиях подача транспортирующего азота снижает теоретическую температуру (не более чем на 80 °С), подача интенсифицирующего кислорода — повышает (не менее чем на 85 °С) в расчётах по разным методикам.

Характеристики углей (ПУТ) существенно влияют на теоретическую температуру. Колебания значений характеристик углей в

пределах одной марки могут превышать различия, обусловленные разными марками.

Наиболее «чувствительной» к изменениям характеристик углей оказывается методика [4], которая использует значения высшей теплоты сгорания, содержания водорода и углерода по результатам элементного анализа для учёта энтальпии реакции горения.

Повышению теоретической температуры соответствует уменьшение содержания водорода в углях. Влияние остальных характеристик углей, по исследованной выборке, противоречиво.

Полученные результаты показывают необходимость постоянного контроля характеристик вдуваемых углей для получения своевременной оценки теоретической температуры горения.

Библиографический список

1. Дунаев, Н. Е. Расчёты теоретической температуры фурменных газов в доменной плавке на дутье с добавками, обогащённом кислородом [Текст] / Н. Е. Дунаев, Т. И. Кухтин // *Сталь*. — 1977. — № 7. — С. 600–604.
2. Анищенко, С. А. Расчёт теоретической температуры горения в горне доменной печи при вдувании пылеугольного топлива [Текст] / С. А. Анищенко, А. А. Томаш, В. П. Кравченко // *Вісник Приазовського державного технічного університету. Сер. Технічні науки*. — 2010. — Вып. 20. — С. 25–28.
3. Касим, Д. А. Определение теоретической температуры горения при вдувании в горн доменной печи природного газа и пылеугольного топлива [Текст] / Д. А. Касим, В. П. Лялюк, А. К. Тараканов, В. С. Листопадов, Д. В. Пинчук // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. — 2016. — № 2. — С. 38–43.
4. Писи, Дж. Г. Доменный процесс : теория и практика [Текст] / Дж. Г. Писи, В. Г. Давенпорт. — М. : Металлургия, 1984. — 142 с.
5. Доменное производство : справочное издание. В 2-т. Т. 1. Подготовка руд и доменный процесс // под ред. Е. Ф. Вегмана [Текст]. — М. : Металлургия. — 1989. — 496 с.

© Новохатский А. М.

© Должиков В. В.

© Диментьев А. О.

© Падалка А. В.

**Рекомендована к печати к.т.н., проф. каф. МЧМ ДонГТУ Куберским С. В.,
нач. доменного цеха Филиала № 2 «ЕМЗ» ЗАО «Внешторгсервис»,
к.т.н. Кузнецовым А. М.**

Статья поступила в редакцию 02.03.18.

д.т.н. Новохатський О. М., к.т.н. Должиков В. В., к.т.н. Діментьєв О. О., Падалка О. В.
(ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)

ВПЛИВ ХАРАКТЕРИСТИК ПИЛОВУГІЛЬНОГО ПАЛИВА І МЕТОДИК РОЗРАХУНКУ НА ВИЗНАЧЕННЯ ТЕОРЕТИЧНОЇ ТЕМПЕРАТУРИ ГОРІННЯ

Проведено аналіз впливу технічного та елементарного складу вугілля, яке вдувається в доменну піч, а також методик розрахунку на визначення теоретичної температури горіння палива в доменній печі.

Ключові слова: доменна піч, розрахункові параметри доменної плавки, теоретична температура горіння палива, характеристики пиловугільного палива, методики розрахунку теоретичної температури.

Doctor of Tech. Sc. Novohatskiy A. M., PhD Dolzhikov V. V., PhD Dimentiev A. O., Padalka A. V. (DonSTU, Alchevsk, LPR)

INFLUENCE OF CHARACTERISTICS OF THE PULVERIZED COAL AND THEIR DESIGN PROCEDURE ON DETERMINING THE THEORETICAL COMBUSTION TEMPERATURE

Analyzing the influence of technical and elementary coal composition injected into blast-furnace was done as well the design procedure for determining the theoretical temperature of fuel combustion in the blast-furnace.

Key words: blast-furnace, calculating parameters of the blast-furnace melting, theoretical temperature of fuel combustion, pulverized coal characteristics, design procedure of theoretical temperature.