

к.т.н. Карнов А.В.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАСХОДА ВДУВАЕМОГО ПУТ НА ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

Проведены исследования влияния вдувания ПУТ на показатели работы доменных печей Европы за 2004 год и доменных печей №1 и 5 Алчевского металлургического комбината. Определено, что наибольшее влияние на значение производительности печей имеет величина расхода кокса, которая зависит от количества вдуваемого угольного топлива.

Ключевые слова: показатели работы, доменная печь, пылеугольное топливо, статистическое исследование.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Вдувание пылеугольного топлива (ПУТ) является наиболее перспективным и актуальным способом экономии дорогостоящего и дефицитного кокса, при этом возникает вопрос определения предельно допустимого количества вдуваемой пыли с сохранением ровного хода печи [1-3].

Известно, что подача ПУТ в зону горения приводит к снижению теоретической температуры горения, что в свою очередь позволяет увеличивать содержание кислорода в дутье. Совокупность этих факторов приводит к значительному повышению интенсивности процесса и достижению высокой производительности. Значения коэффициента использования полезного объема (КИПО) печи 0,4-0,45 являются рядовыми, а доменные печи Европы уверенно приближаются к его значению 0,35.

Одним из ограничивающих факторов, при увеличении расхода вдуваемой угольной пыли, является расход кокса. Можно предположить, что существует некое значение расхода ПУТ, при котором будет наблюдаться максимальная производительность печи, превышение этого количе-

ства вдуваемой добавки будет приводить к снижению производительности печи. Это связано со снижением массы кокса находящегося в печи и соответственно ухудшением газопроницаемости слоя шихтовых материалов, а меньший расход углеводородной добавки не позволит достичь наилучших технико-экономических показателей.

Постановка задачи. В данной работе поставлена цель определения расхода ПУТ, при котором достигается наивысшая производительность печи, а также расход кокса позволяющий сохранить ровный ход доменной печи.

Изложение материала и его результаты. Решение поставленной задачи осуществлялось путем проведения статистического анализа. Так как на доменных печах Европы технология вдувания угольной пыли является более отработанной, проводился анализ показателей их работы.

Всего в обработку включено 31 доменная печь, по каждой из которой приняты среднегодовые показатели их работы за 2004 год. Описательная статистика исходных данных представлена в таблице 1, а на рисунке 1 показаны частотные диаграммы.

Таблица 1 – Описательная статистика показателей работы Европы за 2004

Параметр	Количество данных	Среднее	Минимум	Максимум
Производительность, т/сутки	31	5492,45	2697,84	11705,47
Расход кокса, кг/т чугуна	31	413,30	275,148	641,92
Расход ПУТ, кг/т чугуна	31	154,43	85,90	227,20
КИПО, м ³ /(т сутки)	31	0,454	0,266	0,66

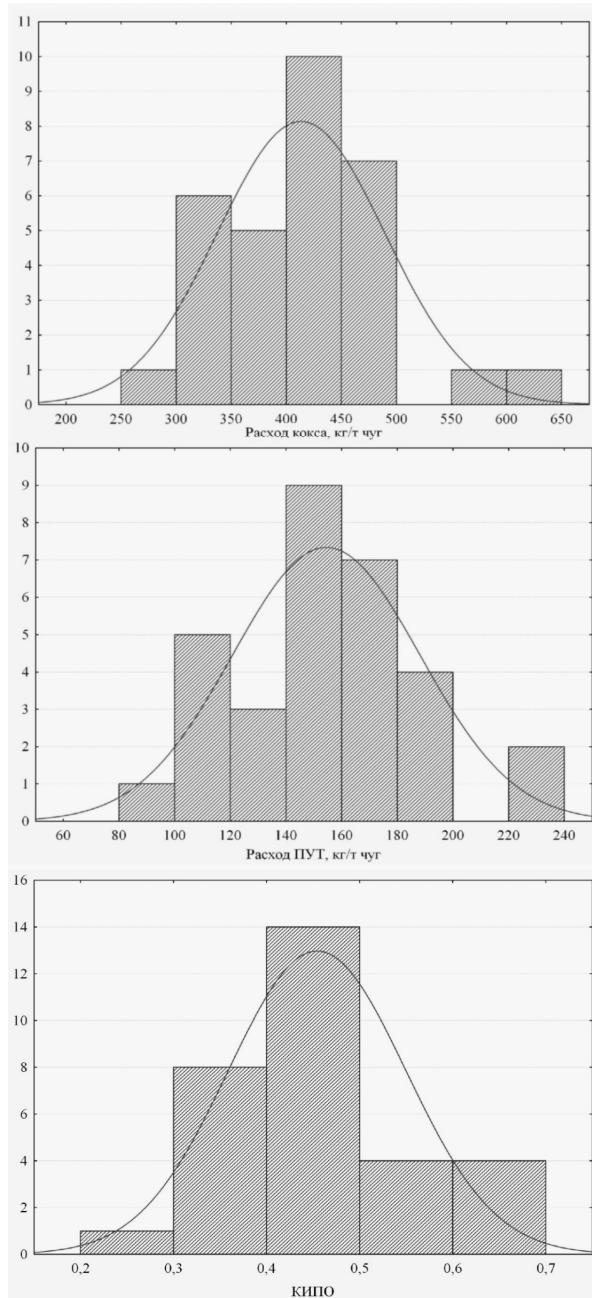


Рисунок 1 – Частотные диаграммы КИПО, а также расходов кокса и ПУТ.

Так как исследуемые печи имеют различный объем, что приводит к значительному колебанию производительности, в качестве объединяющего параметра был взят КИПО.

На производительность печи влияет большое количество параметров ее работы, для компенсации их влияния был произведен пофакторный анализ работы доменных печей. Коэффициенты пересчета для анализа принимались согласно спра-

вочной информации. Таким образом, исследование проводилось, с использованием трех переменных: производительность печи, расход кокса и ПУТ. По этим значениям составлена корреляционная матрица парной зависимости (таблица 2).

Таблица 2 – Корреляционная матрица производительности, расходов кокса и ПУТ

Показатель	Расход кокса	Расход ПУТ	КИПО
Расход кокса	1,0	-0,554	0,464
Расход ПУТ	-0,554	1,0	-0,407
КИПО	0,464	-0,407	1,0

Из таблицы 2 видно, что теснота связи между исследуемыми параметрами довольно мала, однако парная корреляция показывает связь только между двумя параметрами, не учитывая остальных. Что не подходит для проведения данного анализа, поэтому в исследовании использовалась нелинейная множественная регрессия, которая показывает связь между одной переменной и множеством других. Функция зависимости производительности печи от расходов кокса и ПУТ принята степенная. Результаты множественной нелинейной регрессии представлены в таблице 3.

Так как значение КИПО менее 0,5 для увеличения размера коэффициентов уравнения, оно было умножено на тысячу.

Коэффициент корреляции множественной нелинейной регрессии (R) составил 0,506. Коэффициент детерминации (R^2) – 0,256, а коэффициент детерминации, откорректированный на количество независимых переменных (R^2_{adj}) – 0,203. Отклонение фактических значений от прогнозируемых составляет 14%.

График зависимости КИПО от расходов кокса и ПУТ показан на рисунке 2. Из него видно, что увеличение расхода дутьевой пыли приводит к постоянному снижению КИПО, что соответствует повышению производительности печи. Сопоставляя данный результат с фактической работой доменных печей необходимо его откло-

нить, так как было указано ранее, должен существовать некий предел расхода ПУТ, превышение которого должно сопровождаться снижением производства чугуна. Несоответствие теоретических выкладок и полученного результата можно объяснить принятыми исходными данными для анализа – для одной печи использовался, только один набор технико-экономических

показателей за год. В связи с этим было принято решение провести аналогичное исследование по данным работы доменных печей (ДП) №1, 5 ПАО "АМК".

Методология проведения исследования аналогична предыдущему, описательная статистика показателей работы ДП №1, 5 представлена в таблице 4.

Таблица 3 – Множественная нелинейная регрессия показателей работы печей Европы за 2004 год

Переменные	Коэффициент уравнения	Стандартная ошибка	t(25)	Уровень значимости
Свободный член	451,25	80,71	5,59	0,000006
Расход кокса (x^2_1), кг/т чугуна	0,0004	0,00027	1,471	0,152
Расход ПУТ (x^2_2), кг/т чугуна	-0,0027	0,00173	-1,545	0,133

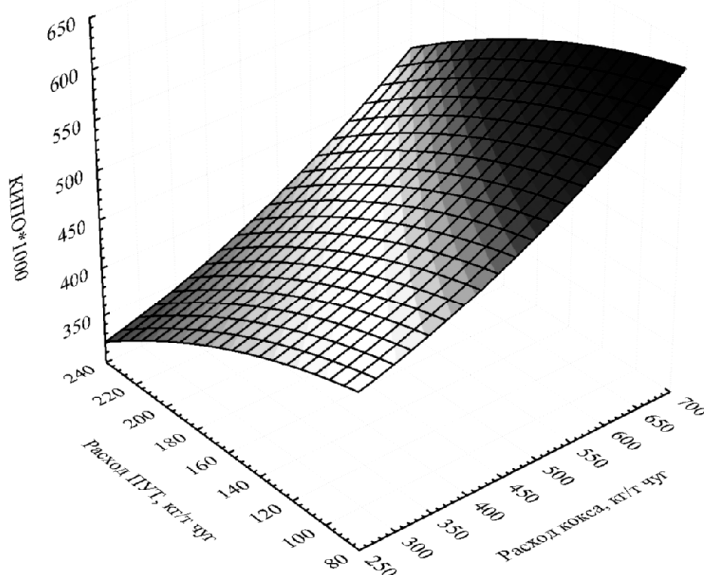


Рисунок 2 – График зависимости КИПО от расходов кокса и ПУТ

Таблица 4 – Описательная статистика показателей работы доменных печей ДП №1, 5

Параметр	Количество данных		Среднее		Минимум		Максимум		Среднее отклонение	
	ДП1	ДП5	ДП1	ДП5	ДП1	ДП5	ДП1	ДП5	ДП1	ДП5
Производительность, т/сутки	118	118	6137	3606	1556	2829	6864	4063	855	256,3
Расход кокса, кг/т чугуна	118	118	394,1	425,9	349,1	396,0	443,7	462,9	14,5	15,2
Расход ПУТ, кг/т чугуна	118	118	160,2	152,2	111,1	106,2	186,0	178,3	12,5	11,1

Видно, что максимальный расход пылеугольного топлива был на ДП №1 и составил 186,0 кг/т чугуна, при этом расход кокса равен 349,1 кг/т чугуна. На ДП №5 показатели несколько хуже, расход ПУТ – 178,3 кг/т чугуна, а кокса – 396,0 кг/т чугуна.

Результаты нелинейной множественной регрессии представлены в таблице 5.

Коэффициент корреляции множественной нелинейной регрессии для ДП №1 составил 0,523, а для ДП №5 – 0,434. Коэффициент детерминации для ДП №1 – 0,273, а для ДП №5 – 0,189 и коэффициент детерминации откорректированный на количество независимых переменных для ДП №1 – 0,234, а для ДП №5 – 0,145. Отклонение фактических значений от прогнозируемых для ДП №1 составляет 3,2%, а для ДП №5 – 5,2%.

Графики зависимости производительности печи от расходов кокса и ПУТ для ДП №1, 5 показаны на рисунках 3, 4.

Из рисунка 3 видно, что изменение расхода угольной пыли непосредственно на производительность печи влияет незначительно. Повышение расхода ПУТ со 100 до 190 кг/т чугуна приводит к повышению выхода чугуна примерно на 500 т/сутки.

При этом изменение массы кокса в подачу существенно меняет производительность.

Для анализируемого периода режима работы ДП №1 наибольшая производительность печи составит при расходе кокса 370 кг/т чугуна, при этом увеличение его расхода приводит к уменьшению выхода чугуна. Это можно объяснить тем, что при уменьшении расхода кокса количество железорудной части шихтовых материалов, находящихся в рабочем пространстве печи в единицу времени увеличивается. В результате чего повышается степень использования восстановительной и тепловой способности газа, что положительно сказывается на производительности печи.

При расходе кокса ниже 370 кг/т чугуна, тоже происходит снижение производительности печи, что объясняется критическим снижением газопроницаемости слоя шихтовых материалов.

Несколько другую картину видно на графике, изображенном на рисунке 4, здесь изменение расхода кокса и ПУТ влияет на производительность печи, однако общая характеристика прослеживается, как и на предыдущем графике, то есть наибольшую производительность мы наблюдаем примерно при расходе кокса в 380 кг/т чугуна.

Таблица 5 – Множественная нелинейная регрессия показателей работы доменных печей ДП №1, 5

Переменные	Коэффициент уравнения		Стандартная ошибка		t(111)		Уровень значимости	
	ДП№1	ДП№5	ДП№1	ДП№5	ДП№1	ДП№5	ДП№1	ДП№5
Свободный член	51543	20216	48695	8502	1,05	2,37	0,29	0,019
Расход кокса (x^2_1), кг/т чуг	0,32	-0,10	0,24	0,087	1,31	-1,10	0,19	0,270
Расход ПУТ (x^2_2), кг/т чуг	0,03	0,08	0,32	0,111	0,09	0,73	0,92	0,467
Содержание кислорода (x^2_3), %	-254,8	-44,4	179,7	25,37	-1,42	-1,75	0,159	0,083
Содержание кислорода (x^3_2), %	6,4	1,1	4,4	0,617	1,43	1,79	0,154	0,075

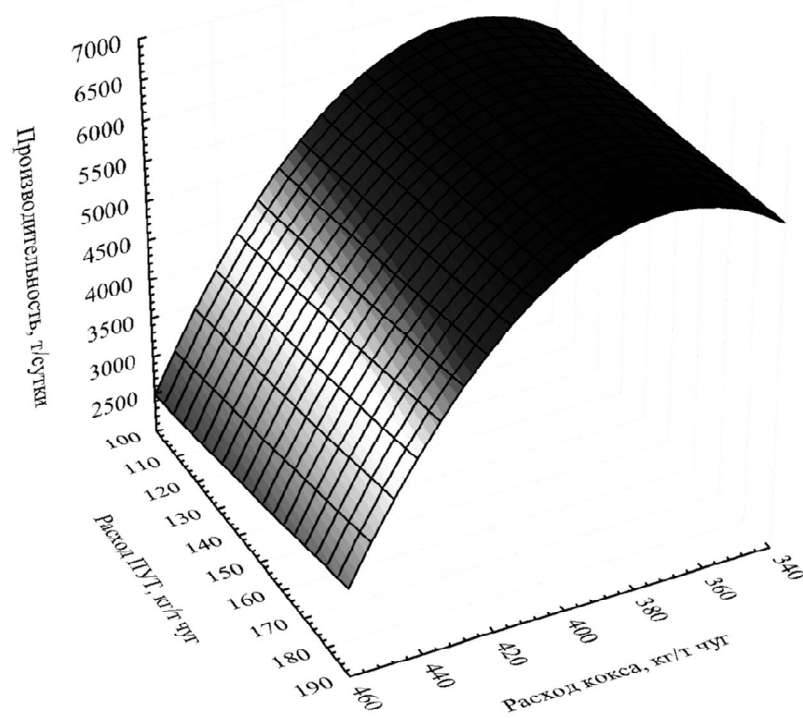


Рисунок 3 - График зависимости производительности печи от расходов кокса и ПУТ на ДП №1

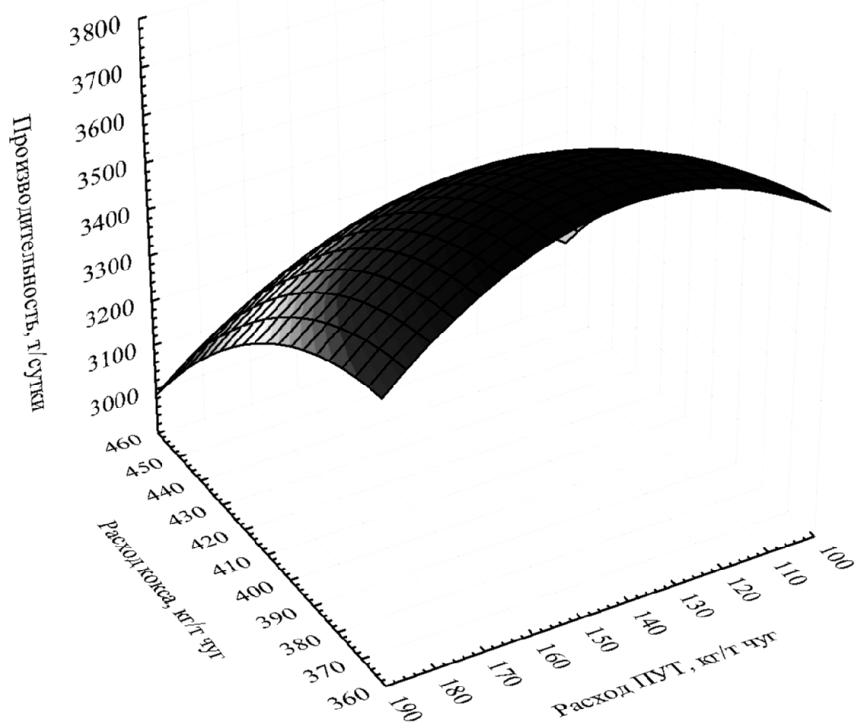


Рисунок 4 - График зависимости производительности печи от расходов кокса и ПУТ на ДП №5

Проведенный анализ позволил утверждать о косвенном влиянии количества вдуваемой пыли в горн доменной печи на производительность печи. Наибольшее влияние на эту характеристику имеет расход кокса, но, как известно, ПУТ подается с целью его экономии. Однако помимо углеводородной добавки к дутью на расход топлива влияет множество других факторов, например значение температуры дутья, содержание железа в шихте, степень использования восстановительной и тепловой способности газа и т.д. Поэтому определение максимально возможного расхода пылеугольного топлива возможно только после поиска массы кокса позволяющего сохранить ровный ход доменной печи, а затем производить пересчет по коэффициентам замены на количество пыли.

Отдельно стоит отметить о степени достоверности проведенного анализа, ее можно оценить по коэффициенту корреляции. Известно, что его нужно проверить на значимость, которая зависит от вероятности ошибки и количества исходных данных. Из таблицы 5 видно, что критические значения t-критерия Стьюдента для расхода кокса больше, чем уровень значимости, что говорит о наличии достоверной связи. На основе чего можно говорить о достаточном уровне значимости.

Библиографический список

1. Параманатан Б. Использование вдувания пылеугольного топлива для оптимизации работы доменной печи / Б. Параманатан, Д. Плоой, М. Геердес // *Сталь*, 2005. – № 10. – С. 38-44.
2. Renliang Z. Characteristic of 200 kg/t HM PCI and low cokerate of Baosteel / Z. Renliang, G. Kezhong // *59-th Ironmaking conference, March 26-29 2000: Pittsburg, PA Proceedings*. – P. 321-326.
3. Савчук Н.А. Доменное производство на рубеже XXI в. / Н.А. Савчук, И.Ф. Курунов // *Новости черной металлургии за рубежом*. – М. : АО "Черметинформация", 2000. – 42 с.

Рекомендована к печати д.т.н., проф. Новохатским А.М.

Статья поступила в редакцию 03.07.13.

к.т.н. Карпов А.В. (ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)

АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВДУВАННЯ ПВП НА ПОКАЗНИКИ РОБОТИ ДОМЕННІ ПЕЧІ.

Проведено дослідження показників роботи доменних печей Європи за 2004 рік і доменних печей №1 і 5 Алчевського металургійного комбінату. Визначено, що найбільший вплив на значення

Выводы и направление дальнейших исследований. Проведенные исследования показателей работы доменных печей Европы за 2004 год, при вдувании большого количества угольной пыли, который показал неоднозначные результаты, что связано с выбранными исходными данными – для одной печи использовался, только один набор технико-экономических показателей за год. Помимо этого выполнено статистическое исследование показателей работы доменных печей №1, 5 Алчевского металлургического комбината. В результате чего определено, что на значение производительности печей наибольшее влияние имеет расход кокса. Для исследуемого режима работы ДП №1 наибольшая производительность будет наблюдаться при расходе кокса около 370 кг/т чугуна, а для ДП №5 около 380 кг/т чугуна.

Определение максимально допустимого расхода пылеугольного топлива возможно только после расчета массы кокса позволяющего сохранить ровный ход доменной печи, а затем производить пересчет по коэффициентам замены на количество вдуваемой пыли.

В дальнейшем планируется увеличить выборку исходных данных для повышения достоверности проведенных исследований.

продуктивності печей має величина витрати коксу, яка залежить від кількості вугільного палива, що вдувається.

Ключові слова: *показники роботи, доменна піч, пиловугільне паливо, статистичне дослідження.*

Карпов А.В. *(DonSTU, Alchevsk, Ukraine)*

ANALYTICAL STUDY OF INFLUENCE PCI UNIT ON THE PERFORMANCE OF BLAST FURNACE.

The research performance of blast furnaces in Europe in 2004 and of the domain ovens number 1 and 5 Alchevsk Iron. It was determined that for the studied period of time at the dispatch number. It was determined that the greatest impact on performance value furnace coke has a flow rate which depends on the amount of injected coal fuel.

Key words: *performance, blast furnace, pulverized coal, the statistical-parameter study.*