

УДК 669.162:621

В.А.Усенко, В.Н. Ковшов, В.А. Петренко, Р.А. Куприков,
Е.Е. Вылупко, С.Е. Сулименко

**ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ ЗА СЧЕТ
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ
ВЗАИМНОГО ГАЗОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ В ВЕРХНЕЙ
И НИЖНЕЙ ЗОНАХ**

Аннотация. Проведены теоретические исследования и математическое описание распределения газовых потоков в верхней и нижней зоне доменной печи, с целью увеличения производительности. Предложены оптимальные соотношения параметров загрузки и длины зоны горения
Ключевые слова: Доменная печь, технология, оптимизация, взаимовлияние, верхняя и нижняя зона

Постановка проблемы

Разработка методики ведения плавки с более рациональным использованием газового потока предопределяет резервы увеличения производительности доменной печи, экономии энергоресурсов и снижение себестоимости продукции.

Анализ исследований и публикаций

Известно на качественном уровне, что газораспределение в верхней зоне доменной печи должно соответствовать газораспределению в нижней зоне. Однако в какой количественной мере связаны распределение шихты на колошнике и газового потока в горне в технической литературе сведений нет.

Цель исследований

Целью данной работы является теоретическое исследование и математическое описание распределения газовых потоков в верхней и нижней зоне доменной печи.

Выяснение количественной связи газораспределения в нижней и верхней зонах, которое в свою очередь позволит разработать рекомендации по комплексной оптимизации использования газового по-

© Усенко В.А., Ковшов В.Н., Петренко В.А., Куприков Р.А.,
Вылупко Е.Е., Сулименк С.Е., 2011

тока с учётом регулирующих мер в верхней и нижней зонах доменной печи, что приведёт к оптимальному сочетанию режимов загрузки и дутья, стабилизации хода печи и, в конечном счете, к улучшению технико-экономических показателей доменной плавки: снижению расхода кокса без существенной потери производства чугуна.

Основная часть

Рациональное распределение газового потока в верхней зоне доменной печи определяется в основном параметрами загрузки шихты: системой загрузки, качеством шихты и компонентным её составом. Распределение же газового потока, который в свою очередь, формируется в нижней зоне доменной печи зависит от многих факторов: параметров фурм и дутья, качества кокса, которые входят составной частью в размеры зон горения и циркуляции. Последние и определяют газораспределение, которое доменщики пытаются привести в соответствие, путём подгрузки железорудной шихтой тот или иной участок радиуса колошника, чтобы оптимизировать газодинамический режим, ход печи и, в конечном счете, расход кокса и производительность доменной плавки.

В настоящей статье намечены пути теоретического исследования и математического описания распределения газовых потоков в верхней и нижней зоне доменной печи с учётом основных факторов, влияющих на процесс исследованный на физических моделях, а так же при помощи статистической обработки производственных данных.

Выяснение количественной связи газораспределения в нижней и верхней зонах позволит разработать рекомендации по комплексной оптимизации использования газового потока с учётом регулирующих мер в верхней и нижней зонах доменной печи, что приведёт к оптимальному сочетанию режимов загрузки и дутья, стабилизации хода печи и, в конечном счете, к улучшению технико-экономических показателей доменной плавки: снижению расхода кокса без существенной потери производства чугуна.

С целью оптимизации взаимовлияния распределения газового потока верхней и нижней зон, и дальнейшего выбора более рационального использования внутреннего резерва доменной печи, было выполнено на основе проведенных статистических исследований на доменной печи №3 металлургического комбината «Запорожсталь». Было исследовано влияние расположения зон циркуляции и факто-

ров загрузки на использование газового потока и верхний перепад давлений, на колошнике доменной печи.

Исследование проводилось на основе математического моделирования путем построения квадратичных моделей данного процесса (результаты представлены в таб.1-2), проверка адекватности полученных моделей проводилась по критерию Фишера. Исходя из полученных результатов, после отсева ошибок составили дифференциальные уравнения:

$$\Delta P_B = -15,352 - 0,656 * M + 4,431 * h + 24,351 * L_{зц} + 0,022 * M^2 - 0,239 * h^2 - 7,722 * L_{зц}^2 - 0,003 * \delta * M + 0,041 * \delta * L_{зц} - 2,197 * h * L_{зц} \quad (1)$$

$$\eta_{co} = 236,233 - 0,709 * \delta - 17,595 * M - 193,949 * h + 143,403 * L_{зц} - 0,002 * \delta^2 + 0,357 * M^2 - 82,3 * L_{зц}^2 + +0,049 * \delta * M + 114,36 * h * L_{зц} \quad (2)$$

Квадратичная модель верхнего перепада давления (ΔP_B)

Таблица 1.

$\Delta P_B, \text{кПа}$	$h * L_{зц}$	$\delta * L_{зц}$	$\delta * M$	$L_{зц} * L_{зц}$	$h * h$	$M * M$	Дл.зона.($L_{зц}$),м	Ур.зас.(h),м	М.под.(M),т	a_0
	a_{34}	a_{14}	a_{12}	a_{44}	a_{33}	a_{22}	a_4	a_3	a_2	
Ошибки=	2,19709341	0,040718474	-0,0032734	7,72157033	-0,23908873	0,022358717	24,3509055	4,431078993	-0,6562103	15,35208019
R ² =	1,75999199	0,014023577	0,00111048	1,97657742	0,338042762	0,011473509	5,110864713	2,89841394	0,45587629	6,045990977
F _{рас} =	0,68631973	0,062163665	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д
	12,1553308	50	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д
Ост.сум.=	0,42274894	0,193216065	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д

Квадратичная модель использования газового потока (η_{co})

Таблица 2.

$\eta_{co}, \%$	$h * L_{зц}$	$\delta * M$	$L_{зц} * L_{зц}$	$M * M$	$\delta * \delta$	Дл.зона, $L_{зц}$,м	Ур.зас.(h),м	М.под.(M),т	ААКК(δ),%	a_0
	a_{34}	a_{12}	a_{44}	a_{22}	a_{11}	a_4	a_3	a_2	a_1	
	114,3603	0,049178	-82,3	0,356842	0,00242559	143,403429	-193,949	-17,5953	-0,70852	236,2234
Ошибки=	30,92733	0,021036	33,78748	0,200145	0,00162072	88,3547554	53,21079	8,021003	0,373977	110,5044
R ² =	0,570155	1,113906	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д
F _{рас} =	7,369009	50	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д
Ост.сум.=	82,29025	62,03928	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д

Метод оптимизации выбрали исходя из того что металлургическое производство как правило многокритериально, так как при выборе наилучшего варианта технологии приходится учитывать большое количество различных требований, среди которых встречаются противоречащие друг другу. В этом случае необходимо применять методы оптимизации с технологическими ограничениями или компромиссные. Один из таких методов, который использовался для написания данной работы это метод множителей Лагранжа.

Составим функцию Лагранжа:

$$\begin{aligned} \Phi = & 220,881 - 0,709 * \delta - 18,251 * M - 189,518 * h + \\ & + 167,754 * L_{зц} - 0,002 * \delta^2 + 0,379 * M^2 - 0,239 * h^2 - \\ & - 90,022 * L_{зц}^2 + 0,046 * \delta * M + 0,0434 * \delta * L_{зц} + \\ & + 112,163 * h * L_{зц} + \lambda * (-15,352 - 0,656 * M + 4,431 * h + \\ & + 24,351 * L_{зц} + 0,022 * M^2 - 0,239 * h^2 - 7,722 * L_{зц}^2 - \\ & - 0,003 * \delta * M + 0,0434 * \delta * L_{зц} - 2,197 * h * L_{зц}) \end{aligned} \quad (3)$$

Возьмем частные производные от функции Лагранжа и приравняем их к нулю:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Phi}{\partial \delta} = & -0.70852 - 0.00243 * 2 * \delta + 0.045695 * M + \\ & + 0.043385 * L - 0.00348 * M * \lambda + 0.043385 * L * \lambda = 0 \\ \frac{\partial \Phi}{\partial M} = & 18.2845 + 0.380304 * 2 * M + 0.045695 * \delta - 0.68918 * \lambda + \\ & + 0.023462 * 2 * M * \lambda - 0.00348 * \lambda * \delta = 0 \\ \frac{\partial \Phi}{\partial h} = & -189.53 + 111.8034 * L + 4.418581 * \lambda - 2.55691 * \lambda * L = 0 \\ \frac{\partial \Phi}{\partial L} = & 167.8685 - 98.9685 * 2 * L + 0.043385 * \delta + \\ & 111.8034 * h + 24.46503 * \lambda - 7.66852 * 2 * L * \lambda + \\ & + 0.043385 * \lambda * \delta - 2.55691 * \lambda * h = 0 \end{aligned}$$

Ограничим необходимой величиной перепада давления:

$$\begin{aligned} & -15.102 - 0.68918 * M + 4.418581 * h + 24.46503 * L + \\ & + 0.023462 * M * M - 7.66852 * L * L - 0.00348 * \delta * M + \\ & + 0.043385 * \delta * L - 2.5569147 * h * L = 0.375 \end{aligned}$$

Методом матриц при помощи Mathcad вычисляем оптимальные значения фаторов:

$$M := \begin{pmatrix} \delta & M & L & h \\ -0.00486 & 0.01530 & 0.42229 & 0 \\ 0.0153 & 1.17042 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 89.47258 & 0 \\ 0.42229 & 0 & -331.88332 & 89.47258 \\ 0 & -0.68918 & 24.46503 & 4.41858 \end{pmatrix} \quad v := \begin{pmatrix} 0.70852 \\ 24.30347 \\ 150.94024 \\ -381.53428 \\ 34.66265 \end{pmatrix} \quad x = \begin{pmatrix} 86.814 \\ 19.656 \\ 1.687 \\ 1.583 \end{pmatrix} \begin{matrix} \delta \\ M \\ L \\ h \end{matrix}$$

Получинные результаты интерпретированы на рис 1-4.

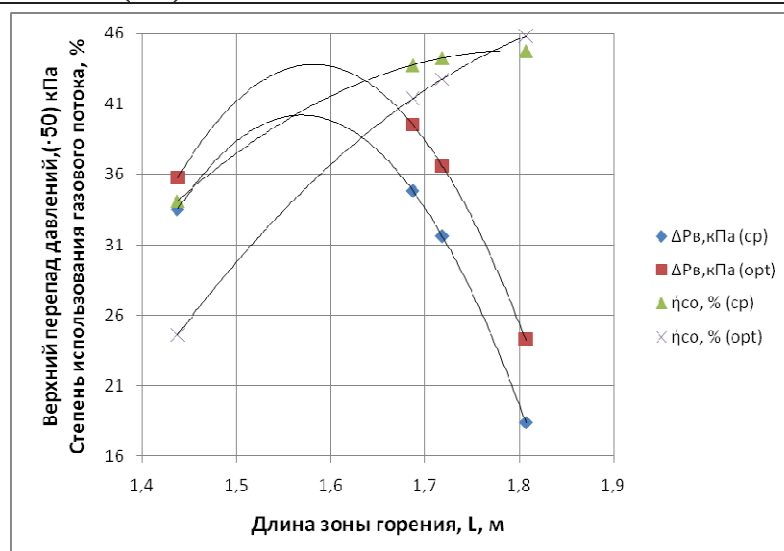


Рисунок 1 - Зависимость верхнего перепада давления и использования газового потока от длины зоны горения ΔP_v (ср) = $-386,1x^2 + 1211,8x - 910,62$; ΔP_v (opt) = $-386,1x^2 + 1221,6x - 922,52$; η_{co} (ср) = $-82,3x^2 + 295,88x - 221,17$; η_{co} (opt) = $-82,3x^2 + 324,43x - 271,72$

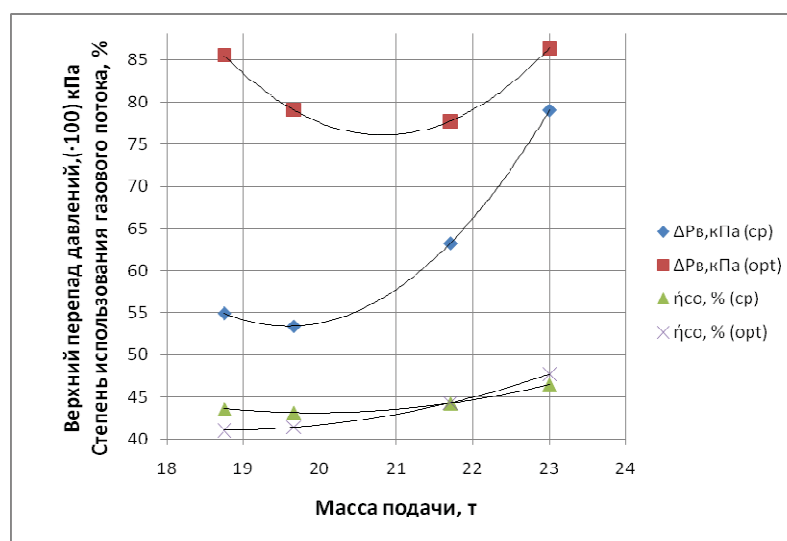


Рисунок 2 - Зависимость верхнего перепада давления и использования газового потока от массы подачи ΔP_v (ср) = $2,2x^2 - 86,191x + 897,6$; ΔP_v (opt) = $2,2x^2 - 91,644x + 1030,4$; η_{co} (ср) = $0,357x^2 - 14,232x + 184,97$; η_{co} (opt) = $0,357x^2 - 13,341x + 165,69$

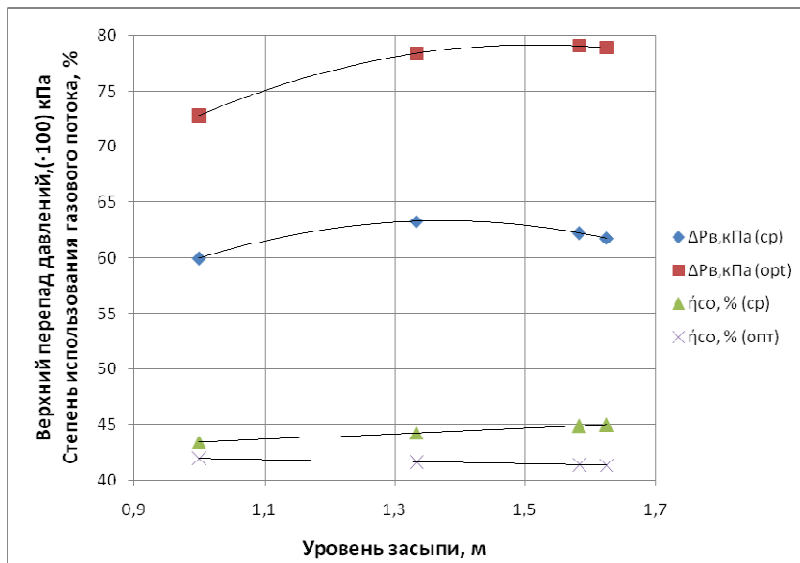


Рисунок 3 - Зависимость верхнего перепада давления и использования газового потока от уровня засыпи $\Delta P_{\text{в}} (\text{ср}) = -23,9x^2 + 65,601x + 18,282$; $\Delta P_{\text{в}} (\text{опт}) = -23,9x^2 + 72,466x + 24,253$; $\eta_{\text{со}} (\text{ср}) = -9\text{E-}13x^2 + 2,5496x + 40,854$; $\eta_{\text{со}} (\text{опт}) = -1,0237x + 43,003$

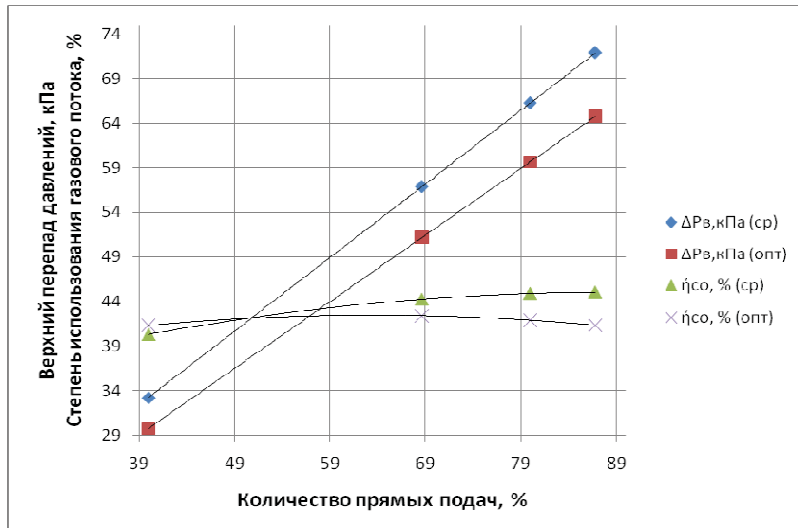


Рисунок 4 - Зависимость верхнего перепада давления и использования газового потока от количества прямых подач $\Delta P_{\text{в}} (\text{ср}) = -2\text{E-}16x^2 + 0,8248x + 0,2667$; $\Delta P_{\text{в}} (\text{опт}) = 0,7469x - 0,0947$; $\eta_{\text{со}} (\text{ср}) = -0,002x^2 + 0,3546x + 29,338$; $\eta_{\text{со}} (\text{опт}) = -0,002x^2 + 0,2541x + 34,393$

Выводы

В процессе работы с помощью математического и теоретического моделирования, были разработаны рекомендации по комплексной оптимизации использования газового потока с учетом регулирующих мер в верхней и нижней зонах доменной печи, что приведёт к оптимальному сочетанию режимов загрузки и дутья, стабилизации хода печи и, в конечном счете, к улучшению технико-экономических показателей доменной плавки: снижению расхода кокса без существенной потери производства чугуна.

Исходя из результатов проведенных исследований, оптимальными параметрами для ведения печи является: количество прямых подач ~ 86,8%, масса подачи 19,7 т., при уровне засыпи 1,58 м., и длине зоны горения 1,69 м., соответственно.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.А. Гиммельфарб Г.Г. Ефименко «Автоматическое управление доменным процессом» Изд. «Металлургия» Москва 1969г.