

**Кочура В.В., канд. техн. наук, доц., Ярошевский С.Л., докт. техн. наук, проф.,  
Брага В.В\*., канд. техн. наук, Попов В.Е.\***

Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, Украина

\*ЗАО «Донецксталь-МЗ», г. Донецк, Украина

## **ТЕХНОЛОГИЯ ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ С ЧАСТИЧНОЙ ЗАМЕНОЙ КОКСА ПЫЛЕУГОЛЬНЫМ ТОПЛИВОМ**

Важнейшая задача черной металлургии - снижение энергоемкости металлопродукции не может быть решена без существенного сокращения расхода кокса на выплавку чугуна.

Поэтому особое значение приобретает широкомасштабное внедрение технологии доменной плавки с вдуванием в горн пылеугольного топлива (ПУТ), приготовленного из недефицитных и относительно недорогих некоксующихся марок углей с низким содержанием серы и золы. Преимуществами угля по сравнению с другими заменителями кокса является его низкая стоимость, большие запасы и высокая теплота сгорания у фурм доменной печи.

Вдувание пылеугольного топлива в доменную печь (ДП) является эффективной технологией с точки зрения снижения себестоимости чугуна, повышения производительности печи и защиты окружающей среды.

Первая в Европе промышленная установка по приготовлению и вдуванию ПУТ была построена в 1980 году на Донецком металлургическом заводе (ДМЗ) [1,2]. После 20 летней эксплуатации она была реконструирована и введена в работу 22 августа 2002 года.

Начиная с 80-х годов в странах Европы и Азии основным видом вдуваемого топлива становится уголь. В настоящее время более 100 пылеугольных комплексов работают в странах Европейского Союза, Китае, Японии, Корее, США и других странах [3-5]. Совершенствование техники и технологии вдувания пылеугольного топлива привело к достижению стабильных расходов его на уровне 150-200 кг/т чугуна.

Установка ДМЗ состоит из отделения пылеприготовления и распределительно дозирующего отделения (РДО). Схема установки приведена на рис.1.

Отделение пылеприготовления предназначено для приема, сушки и размола угля, приготовления и хранения запаса угольной пыли заданного качества. Оно состоит из тракта подачи сырого угля и собственно системы пылеприготовления.

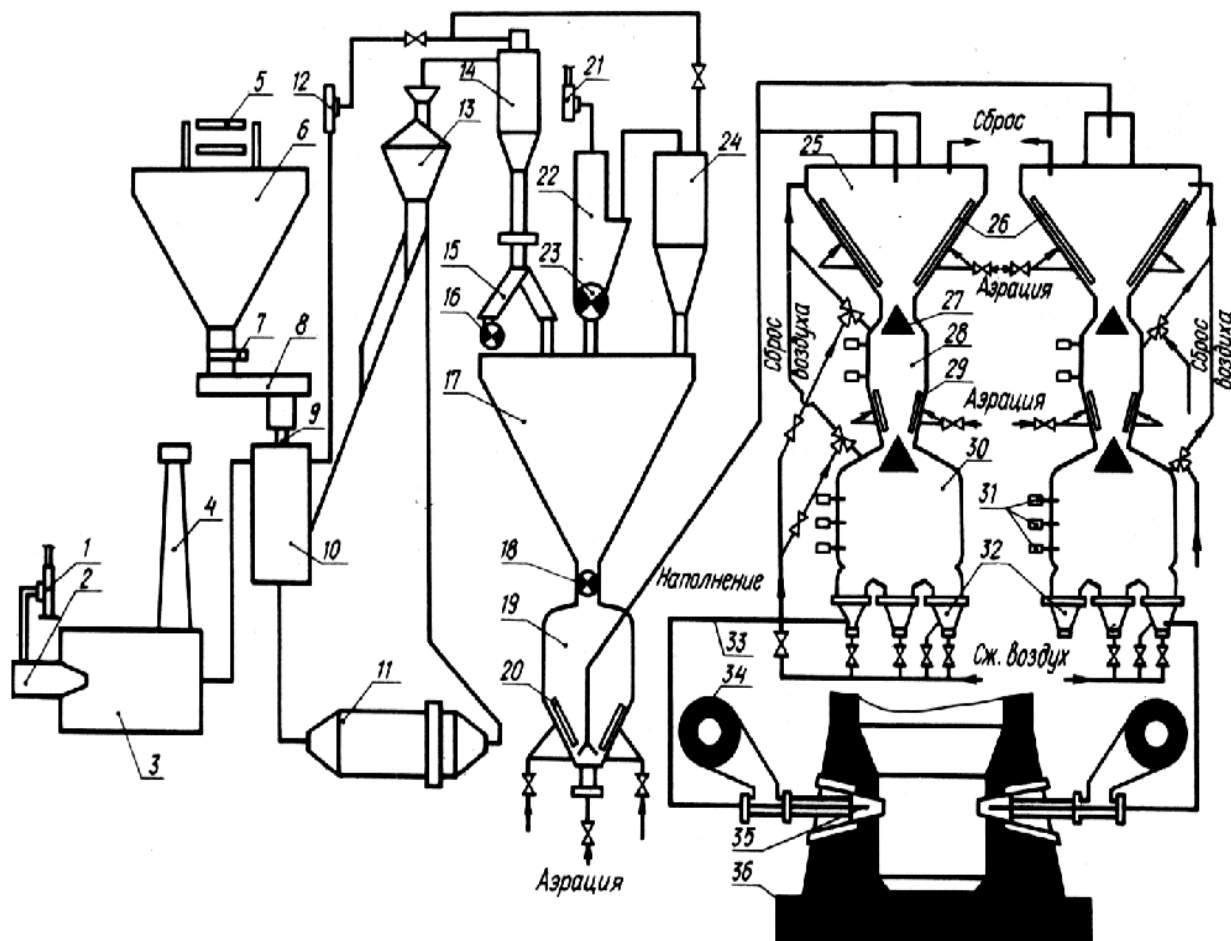
Система пылеприготовления включает в себя два автономных блока помола и сушки угля производительностью 10 т/ч угольной пыли каждый. В состав каждого блока входит оборудование приема, сушки и размола угля, оборудование пылеулавливания, газоочистки и сбора угольной пыли в бункер, оборудование транспортировки угольной пыли к РДО.

Отделение пылеприготовления предназначено для получения угольной пыли с тониной помола  $R_{80} < 15\%$  (остаток менее 15% на сите с размером ячейки 80 мкм), влажностью до 1%, насыпной массой 500 кг/м<sup>3</sup>.

Исходным материалом являются угли класса «Т», «Г», «А» в соответствии с действующими ТУ с содержанием летучих веществ до 41% и влажностью до 17,5%. Размеры кусков сырого угля до 150 мм. Поступающий на завод сырой уголь с открытого склада грейферным краном загружается в приемные бункера сырого угля, из которых через шиберный затвор поступает по системе конвейеров в бункеры запаса сырого угля, расположенные в здании отделения пылеприготовления.

Из бункера запаса сырого угля через шиберный затвор по тракту сырого угля уголь поступает в питатель сырого угля, регулирующий подачу угля в шаровую мельницу. Из питателя уголь поступает в устройство для нисходящей сушки. К этому устройству

подводятся дымовые газы из топки, запыленный воздух от мельничного вентилятора по линии рециркуляции и возврат крупной фракции пыли от сепаратора. В устройстве для нисходящей сушки во время совместного продвижения сверху вниз сырого угля и сушильного агента происходит частичное удаление влаги из угля. Газовоздушная смесь получается путем сжигания природного газа в топке с добавлением азота в топку и с температурой 600-800°C по трубопроводу поступает в устройство для нисходящей сушки.



1 – вентилятор дутьевой; 2 – горелка; 3 – топка; 4 – труба; 5 – конвейер ленточный; 6 – бункер сырого топлива; 7 – шибер; 8 – питатель скребковый; 9 – тракт сырого угля; 10 – топка; 11 – шаровая мельница; 12 – дымосос; 13 – сепаратор; 14 – циклон; 15 – клапан перекидной; 16 – винтовой конвейер (шнек); 17 – бункер пыли; 18 – питатель шлюзовой; 19 – пневмокамерный насос; 20 – аэратор; 21 – дымосос; 22 – рукавный фильтр; 23 – конвейер винтовой; 24 – циклон; 25 – бункер запаса; 26 и 29 – аэраторы; 27 – клапан конический; 28 – промежуточный резервуар; 30 – питательный резервуар; 31 – уровнемеры; 32 – питатель аэрационный; 33 – пылепровод; 34 – фурменный прибор; 35 – устройство ввода топлива в доменную печь; 36 – горн доменной печи.

Рисунок 1 - Схема промышленной установки для приготовления и вдувания ПУТ в горн доменной печи

Из устройства для нисходящей сушки смесь угля и сушильного агента поступает в шаровую барабанную мельницу, в которой происходит размол угля и окончательное удаление влаги из него. Из мельницы аэросмесь по пылепроводу поступает в сепаратор, где крупные частицы пыли сепарируются и через мигалки по тракту возврата поступают в устройство нисходящей сушки, а затем в мельницу на домол.

В таблице 1 представлены показатели фракционного состава и технического анализа ПУТ, приготовленного из углей различных марок, для вдувания на ДМЗ после

реконструкции установки.

Таблица 1 – Фракционный и технический анализ ПУТ

Вид угля	Технический анализ (%)			R <sub>80</sub> (%)	R <sub>63</sub> (%)	Коэф. полидис- перности	Средний медианный размер (мкм)
	S	A	W				
Антрацит (3.09 –30.09.02)	0,85	12,88	0,82	13,04	20,1	1,106	29
Антрацит (1.10–23.10.02)	0,96	14,12	0,7	11,7	18,05	1,07	27
Антрацит (1.11 –13.11.02)	0,93	19,62	0,78	6,2	12,5	1,21	24
Газовый (14.11 –29.11.02)	0,46	10,77	0,99	4,83	10,6	1,35	25
Газовый (3.12 –27.12.02)	0,54	12,35	1,05	4,7	10,1	1,29	24
Тощий (3.01 – 31.01.03)	1,71	9,25	0,74	4,23	7,86	0,99	16
Тощий (1.02 – 28.02.03)	2,05	10,21	0,75	4,01	6,85	0,82	12
Тощий (1.03 – 31.03.03)	2,09	11,17	0,9	5,39	7,77	0,61	8
Тощий (1.04 – 29.04.03)	2,4	12,8	0,53	4,49	7,37	0,76	11
Тощий (1.05-26.05.03)	2,24	11,59	0,3	6,01	8,09	0,54	7
Тощий (1.06-30.06.03)	2,19	12,66	0,43	5,76	8,42	0,65	9
Тощий (1.07-31.07.03)	2,06	12,69	0,28	5,6	8,46	0,72	10,5
Тощий (1.08-31.08.03)	2,18	13,36	0,31	5,57	11,69	1,37	25,6
Тощий (1.09-30.09.03)	1,93	12,14	0,29	11,11	19,65	1,3	31
Тощий (1.10-30.10.03)	2,11	12,41	0,42	11,51	18,46	1,05	26
Тощий (1.11-30.11.03)	1,85	11,71	0,5	8,15	14,35	1,08	23
Тощий (1.12-31.12.03)	1,85	11,07	0,38	9,43	15,16	0,97	20
Тощий (1.1-31.1.04)	1,84	13,25	0,54	13,51	17,71	0,64	15
Тощий (1.2-29.2.04)	1,84	15,91	0,48	12,7	15,97	0,5	10
Тощий (1.3-31.3.04)	1,97	15,95	0,44	9,13	12,08	0,53	8
Тощий (1.4-30.4.04)	1,50	14,13	0,55	9,95	13,38	0,58	10
Тощий (1.5-31.5.04)	1,50	11,77	0,50	12,9	17,17	0,63	15
ССОМ (7.6-14.6.04)	0,18	10,69	0,70	13,34	16,72	0,50	10
Тощий (15.6-30.6.04)	1,35	12,05	0,55	12,42	16,11	0,56	11
Тощий (1.7-31.7.04)	1,34	10,68	0,7	9,88	16,32	1,5	24
Тощий (1.8-31.8.04)	1,35	11,49	0,62	11,09	16,29	0,84	18
Тощий (1.9-30.9.04)	1,31	11,42	0,7	11,57	15,39	0,6	12
Тощий (1.10-31.10.04)	1,35	11,26	0,65	18,1	27,4	1,17	37*
Тощий (1.11-30.11.04)	1,3	11,97	0,63	16,8	26,3	1,22	37*
Тощий (1.12-31.12.04)	1,31	11,11	0,65	16,16	25,67	1,24	37*
Тощий (1.1-31.1.05)	1,3	10,28	0,57	15,71	25,11	1,23	36*
Тощий (1.2-28.2.05)	1,39	9,75	0,44	18,05	27,69	1,23	38*
Тощий (1.3-14.3.05)	1,39	10,59	0,3	17,81	27,04	1,18	37*
Тощий (1.4 -30.4.05)	1,45	10,73	0,42	15,33	24,22	1,18	34*
Тощий (1.5-28.5.05)	1,38	10,3	0,39	16,5	25,61	1,18	36*
Концентрат «Т» (29.5-9.6.05)	1,52	9,03	0,48	16,4	24,44	1,04	32*
Тощий (10.6-16.6.05)	1,42	10,42	0,52	16,0	24,97	1,18	36*

\* С октября 2004 фракционный состав ПУТ определяется ЦКЛ на микроанализаторе «ANALYSETTE»

На первом этапе пылевдувания (1.09.02-13.11.02) использовался антрацит с высоким содержанием золы (12-20%), что привело к массовому выходу из строя воздушных фурм по причине абразивного их износа угольной пылью. При использовании газового угля (14.11-27.12.02) с высоким содержанием летучих веществ (более 40%) возникали проблемы пожаровзрывобезопасности, что привело к отказу от использования газовых углей. С января 2003 начато вдувание тощего угля, показавшего наилучшие результаты доменной плавки.

Как видно из табл. 1, приготовленная угольная пыль имеет достаточно стабильный и тонкий помол, что требуется для условий полного ее сгорания в окислительной зоне доменной печи.

Пылегазовая смесь, содержащая угольную пыль заданной тонины помола, из

сепаратора по пылепроводу поступает в пылевой циклон. В пылевом циклоне угольная пыль отделяется от пылегазовой смеси и по пылепроводу через мигалки ссыпается в бункер пыли.

Из пылевого циклона малозапыленная пылегазовая смесь по трубопроводу поступает в мельничный вентилятор, который обеспечивает её циркуляцию в системе пылеприготовления.

От мельничного вентилятора часть пылегазовой смеси по линии рециркуляции подаётся в устройство для нисходящей сушки, а другая часть, состоящая из паров влаги, угольной пыли, присосов воздуха в систему, дымовых газов, азота подаётся на двухступенчатую газоочистку. Система очистки сушильного агента от пыли состоит из первой ступени очистки – аэродинамического фильтра, изготовленного из 4-х аэродинамических модулей и второй ступени – рукавного фильтра.

После очистки пылегазовоздушная смесь (избыток сушильного агента) дымососом, через дымовую трубу выбрасывается в атмосферу. Отделенная в рукавном и аэродинамическом фильтрах угольная пыль по трубопроводам с мигалками ссыпается в бункер пыли.

Накопленная в бункере запаса угольная пыль откачивается в бункер распределительно-дозировочного отделения пневмокамерным насосом. В качестве транспортирующего агента используется очищенный и осушенный воздух в смеси с азотом (содержанием кислорода в смеси не более 16%).

Угольная пыль из отделения пылеприготовления на РДО может транспортироваться по трем пылепроводам от каждого пневмокамерного насоса на первый или второй блок РДО.

Распределительно – дозировочное отделение предназначено для приема, хранения и дозированной подачи ПУТ в горн доменной печи. РДО состоит из двух автономных блоков. Каждый блок осуществляет подачу ПУТ на 8 фурм доменной печи (1-й блок на нечетные фурмы, 2-й – на четные).

В состав каждого блока РДО входят: бункер запаса пыли; разгрузочный циклон; рукавный фильтр; вытяжной вентилятор; отсекающий клапан; верхний загрузочный клапан; промежуточный резервуар; 2 клапана (один рабочий, второй резервный) сброса давления из промежуточного резервуара; нижний загрузочный клапан; питающий резервуар; 2 клапана (один рабочий, второй резервный) сброса давления из питающего резервуара; аэрационные питатели; пылепроводы с запорной арматурой; коллекторы и трубопроводы аэрационной и транспортирующей смеси, продувки пылепроводов, аварийной подачи азота; узлы ввода пылеугольного топлива в фурму.

Подача ПУТ к 16 фурмам доменной печи осуществляется по 16-ти пылепроводам, подсоединенным попарно к восьми питателям обоих блоков. Расход пыли по каждому пылепроводу регулируется изменением расхода транспортирующей аэровоздушной смеси, подаваемой в пылепроводы через питатели с помощью расходомера ПУТ с неравномерностью распределения по фурмам  $\pm 5\%$ , что вполне отвечает требованиям технологии и соответствует лучшим мировым аналогам.

Данная технология отвечает современным требованиям по основным показателям процесса (расход кокса, производительность и пр.), кроме того, при ее внедрении значительная часть материальных средств будет сэкономлена за счет замены дорогостоящего кокса более дешевым ПУТ (запасы угля в Донбассе огромны).

Расчет показывает, что при замене измельченным углем 1 млн. т кокса (расход угля - 200 кг/т чугуна, коэффициент замены - 0,85 кг/кг) выброс в атмосферу вредных веществ за счет сокращения производства кокса уменьшается на 7094т [6,7]. Выброс вредных веществ с недоочищенными промышленными стоками в водные бассейны уменьшается на 250...1020 т, в том числе: взвешенных веществ -120...240 т, аммония азотистого - 120...720 т, масло - 6...24 т, пиридиновых оснований - 3...14 т, фенолов - 0,3..0,4 т, родонидов - 0,6...3,0 т, цианидов - 0,2...90 т.

В то же время производство 1 млн. т ПУТ сопровождается на один - два порядка меньшим выбросом в атмосферу вредных веществ: угольной пыли - 32 т; оксида углерода - 93,6; оксида азота - 37,6; сернистого ангидрида - 53,0 т, что при замене части кокса ПУТ определяет значительное уменьшение загрязнения окружающей среды вредными выбросами.

В связи с уменьшением потребления кокса в доменном производстве, общее снижение вредных выбросов в атмосферу существенно сократится (табл.2).

Таблица 2 – Снижение вредных выбросов в атмосферу при вдувании ПУТ

Вредные вещества	Увеличение вредных выбросов в доменном производстве, т	Снижение выбросов в коксохимическом производстве, т	Общее снижение выбросов, т
H <sub>2</sub> S	-	307,5	307,5
SO <sub>2</sub>	5,1	139,4	134,3
CO	8,7	53,7	45,0
аммиак	-	36,4	36,4
угольная пыль	2,8	326,2	323,4
NO <sub>x</sub>	3,7	19,2	15,5
синильная кислота	-	1,3	1,3
фенол	-	11,4	11,4
Итого	20,3	895,1	874,8

Таким образом, технология доменной плавки с заменой кокса ПУТ позволит не только снизить себестоимость чугуна, сократить использование кокса и природного газа, но и значительно уменьшить количество вредных выбросов в окружающую среду.

#### Список литературы:

1. Ярошевский С.Л. Выплавка чугуна с применением пылеугольного топлива. – М.: Металлургия, 1988. – 176 с.
2. Ноздрачев В.А., Ярошевский С.Л., Терещенко В.П. Перспективные технологии доменной плавки с применением кислорода и пылеугольного топлива, 1996. – Донецк: Новый мир, 1996. – 173 с.
3. Состояние и перспективы технологии доменной плавки с вдуванием пылеугольного топлива/ А.И.Бабич, С.Л.Ярошевский, В.В.Кочура, В.П.Терещенко// Металл и литье Украины. – 1995. - №11-12. - С.12-18.
4. Савчук Н.А., Курунов И.Ф. Доменное производство на рубеже XXI века // Новости черной металлургии за рубежом. - 2000.- Часть II.- Приложение 5. - М.: АО Черметинформация. - 42 с.
5. Производство первичного металла в странах Западной Европы/ А.И.Бабич, В.В.Кочура, А.Формосо, Л.Гарсия// Металл и литье Украины. – 1997. -№5. - С.32-37.
6. Бабич А.И., Ярошевский С.Л., Терещенко В.П. Интенсификация использования пылеугольного топлива в доменной плавке. – К.: Техника, 1993. – 200 с.
7. Intensifying pulverised coal combustion in blast furnace/ V.V. Kochura, A.I. Babich, S.L.Yaroshevskiy// International blast furnace lower zone symposium. – Wollongong, Australia. - 2002. - P.35-47.