



УДК 669.162.267.4:662.74

Е.В. ЕЛЫШЕВА, инженер II категории, С.В. ПОГОЖИХ, начальник группы

Государственное предприятие «Украинский научно-технический центр металлургической промышленности «Энергосталь» (ГП «УкрНТЦ «Энергосталь») г. Харьков

## СОЗДАНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ УСТАНОВОК ПРИГОТОВЛЕНИЯ И ВДУВАНИЯ ПЫЛЕУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА В ГОРН ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

Показана актуальность технологии доменной плавки с применением пылеугольного топлива. Представлена принципиальная технологическая схема приготовления пылеугольного топлива, а также технология пылевдувания фирмы «KUTTNER» (Германия). Рассмотрены компенсирующие факторы влияния пылеугольного топлива на доменный процесс.

**Ключевые слова:** черная металлургия, доменная плавка, кокс, природный газ, пылеугольное топливо (ПУТ), приготовление ПУТ, вдувание ПУТ, экономическая эффективность.

Современный этап развития экономики Украины характеризуется ростом цен на энергоносители. Известно, что одной из наиболее энергоемких отраслей промышленности является металлургия, в себестоимости продукции которой более 40 % приходится на топливно-энергетические ресурсы. Высокую цену на производимую продукцию, снижая ее конкурентоспособность на мировом рынке и рентабельность металлургического комплекса в целом, обуславливает высокий уровень цен на природный газ и кокс.

Более 70 % всех энергозатрат при производстве металла приходится на выплавку чугуна и, следовательно, наиболее приоритетной задачей является их снижение, поскольку технология доменной плавки с вдуванием

в горн природного газа экономически неэффективна. Существенно снизить затраты на выплавку чугуна, заменив часть кокса и природный газ, позволит технология вдувания пылеугольного топлива (ПУТ) из углей неспекающихся марок [1] – табл. 1.

В настоящее время с применением вдувания ПУТ в доменные печи производится более 50 % мировой выплавки чугуна, что свидетельствует об эффективности данной технологии.

По проекту ГП «УкрНТЦ «Энергосталь» построена и впоследствии реконструирована установка вдувания ПУТ в доменные печи на Донецком металлургическом заводе (ПАО «ДМЗ») – рис. 1. Также ГП «УкрНТЦ «Энергосталь»

**Таблица 1 – Эффективность использования различных углей для приготовления ПУТ**

Уголь	Достоинства	Недостатки	Коэффициенты замены кокса углем ( $K_3$ )*
100 % «Т»	Наличие отработанной технологии (достигнут расход до 140 кг/т). Высокий $K_3$ за счет относительно высокого содержания углерода	Более высокое по сравнению с углем «АС» и «Г» содержание серы в готовом ПУТ, что увеличивает общий приход серы с шихтой в печь	0,9
100 % «А»	Высокий $K_3$ за счет высокого содержания углерода	Высокая абразивность ПУТ. Более низкая, в сравнении с углем «Т» и «Г», степень газификации в фурменных очагах	0,95
100 % «Г»	Высокая степень газификации в фурменных очагах. Экономия природного газа в большей степени по сравнению с другими марками углей	Необходимость дополнительных мероприятий по обеспечению пожаровзрывобезопасности при работе на углях с повышенным выходом летучих. Высокий выход летучих определяет низкий $K_3$	0,75
50 % / 50 % «Т» + «Г»	Возможность исключить из состава дутья природный газ при использовании ПУТ в количестве 150–180 кг/т чугуна	Необходимость дозировки компонентов смеси	0,82
50 % / 50 % «АС» + «Г»	Возможность исключить из состава дутья природный газ при использовании ПУТ в количестве 170–200 кг/т чугуна	Необходимость дозировки компонентов смеси	0,85

\* Рассчитаны при зольности углей не выше 10 % и содержании серы до 1,0 % – при возрастании содержания в угле золы и серы коэффициенты замены кокса углем снижаются

создан проект установки вдувания ПУТ на Алчевском меткомбинате на основе базисного инжиниринга и оборудования фирмы «KUTTNER» (Германия). В 2009 г. установка пущена в эксплуатацию.

Комплекс подготовки и вдувания пылеугольного топлива предназначен для измельчения, сушки и вдувания угля в горн доменных печей через фурменные приборы.

Установка по приготовлению и вдуванию ПУТ в доменные печи обеспечивает прием и складирование угля – в ее составе конвейерная система подачи угля со склада к размольной установке, бункер исходного угля, мельница с циркуляционным контуром для газа и фильтров, бункер для измельченного и подсушенного угля, пневмотранспорт ПУТ, а также установка для вдувания ПУТ с трубопроводами и распределителем перед доменной печью.

Объекты по приему и складированию угля привязаны к существующим объектам доменного цеха.

Схемы приготовления ПУТ принципиально одинаковы для всех установок, но отличаются конструкцией устанавливаемого оборудования. Так, например, на установке вдувания ПУТ Донецкого металлургического завода (первой в Европе) основным агрегатом для помола и сушки угля является барабанная шаровая мельница, а

на установках иностранных фирм – валково-тарельчатая мельница.

Валковые мельницы характеризуются рядом преимуществ: малая занимаемая площадь как следствие вертикальной конструкции, малая шумность, хорошая регулируемость и небольшая инерционность – однако при их использовании возрастают требования к качеству размалываемых углей по твердости и гранулометрическому составу.

Анализ показывает (табл. 1), что наиболее перспективным вариантом сырья для производства ПУТ является смесь углей марок «Т» и «Г» или «АС» и «Г» в соотношении 1:1 [1].

Исходный уголь складировается по сортам в три отдельных штабеля. Из штабеля уголь поступает в приемно-дозировочные бункера, где дозируется в определенном соотношении, – далее смесь ленточными конвейерами направляется на углеподготовку (рис. 2а). После углеподготовки, заключающейся в удалении из исходного сырья металлических и других посторонних предметов, а также крупных (более 80 мм) кусков, сырье направляется в бункер сырого угля и далее – в мельницу для размола и сушки до требуемой влажности (рис. 2б).

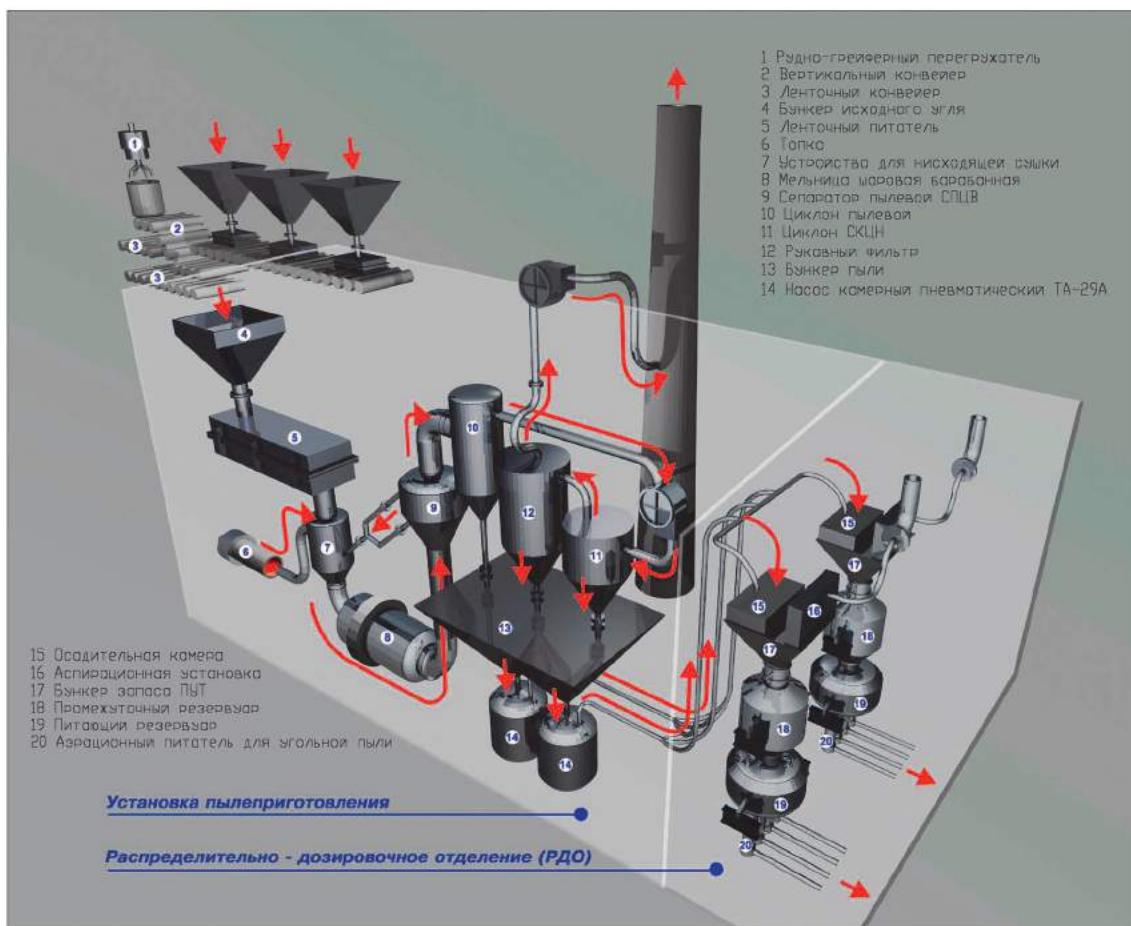
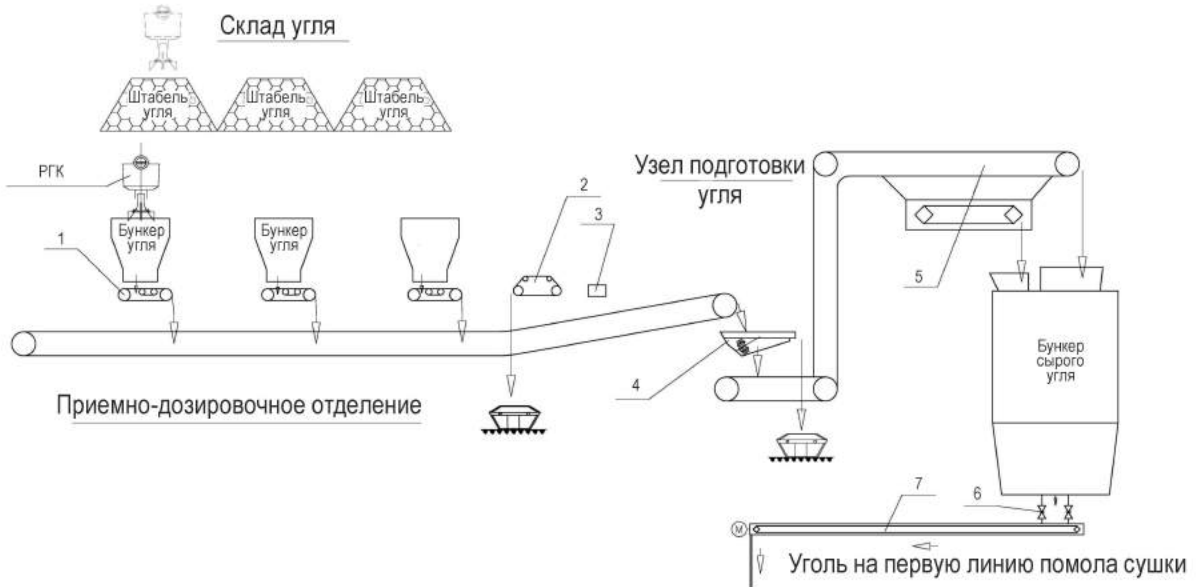
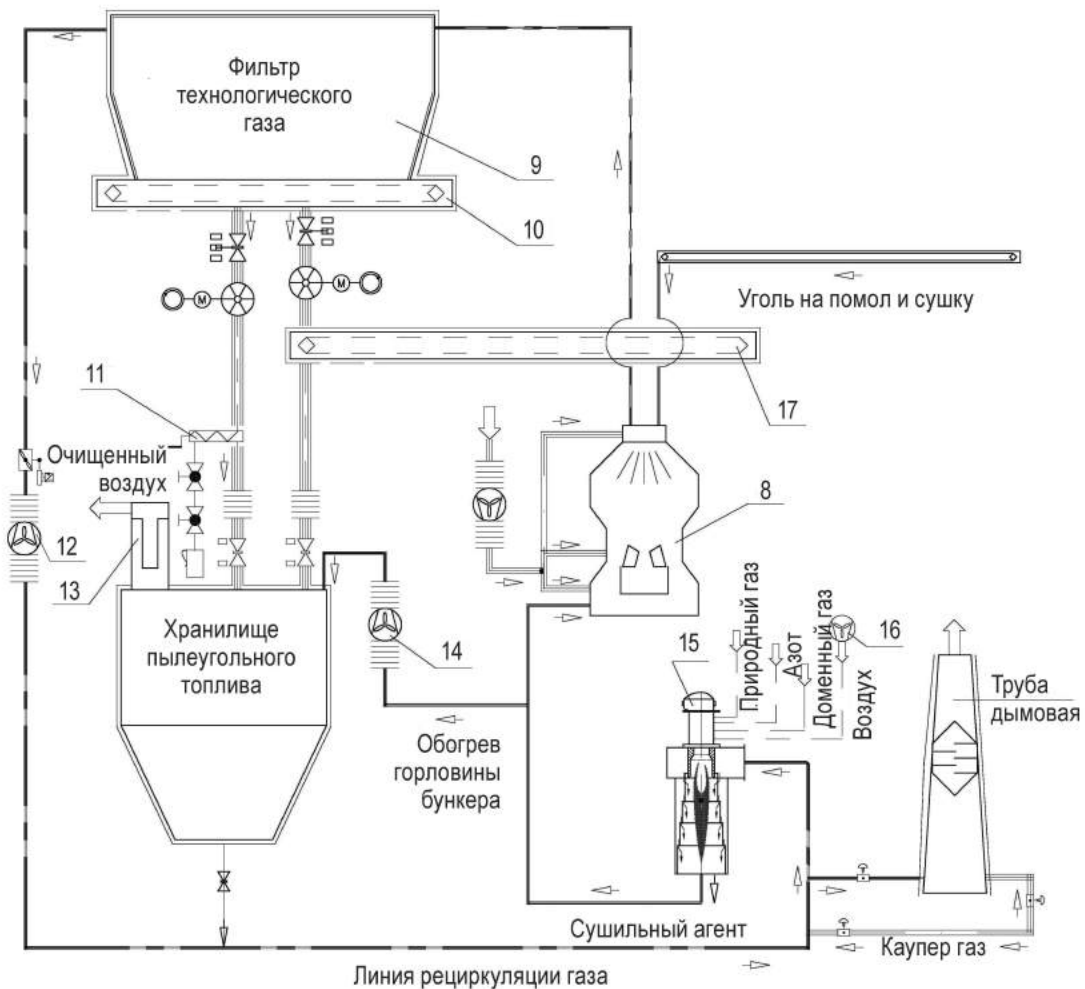


Рисунок 1 – Установка вдувания ПУТ в доменные печи ПАО «Донецкий металлургический завод» [2]



**Рисунок 2а – Приемно-дозировочное отделение и узел подготовки угля:**

1 – ленточный весовой дозатор; 2 – электромагнитный надленточный сепаратор; 3 – детектор металла; 4 – грохот; 5 – конвейер; 6 – плоский шибер; 7 – цепной скребковый конвейер



**Рисунок 2б – Пылеприготовительное отделение:**

8 – вальцовая котловая мельница; 9 – фильтр технологического газа; 10 – скребковый транспортер; 11 – главный вентилятор; 12 – верхний фильтр бункера; 13 – пробозаборник; 14 – вентилятор горячего газа; 15 – генератор горячего газа со смесительной камерой; 16 – вентилятор подачи воздуха на горение; 17 – скребковый транспортер

Для сушки угля используются дымовые газы (средней температуры 200 °С) воздухонагревателей доменных печей. Для повышения температуры сушильного агента используются дымовые газы от сжигания доменного газа в газогенераторе (природный газ используется только для разогрева мельницы после ее длительной остановки).

Газопылевая смесь после мельницы направляется в рукавный фильтр, где угольная пыль отделяется от сушильного агента, и поступает в бункер пыли (рис. 3). Отработанный сушильный агент с запыленностью не более 20 мг/м<sup>3</sup> выбрасывается в дымовую трубу или добавляется к сушильному агенту для снижения его температуры. Максимальная температура сушильного агента составляет 360 °С.

Установка пылеприготовления работает под разрежением, для чего на каждую линию помола устанавливается вентилятор.

Из бункера угольная пыль поступает на грохот, где отсеиваются некондиционные частицы пыли, и далее – в емкости дувания ПУТ, из которых азотом транспортируется в плотном слое по трубопроводам к стационарным распределителям доменных печей.

Оборудование для вдувания пылеугольного топлива в горн доменной печи представляет собой набор бункеров и сосудов, работающих под давлением, технологически соединенных пылепроводами и воздухопроводами с арматурой, которая обеспечивает управляемую подачу к фурмам доменной печи заданного количества пылеугольного топлива.

ПУТ от распределительной емкости пылеприготовительного отделения по трубопроводам подается в статический распределитель, который устанавливается в распределительной станции, расположенной возле печи (рис. 4). На каждую доменную печь устанавливается два распределителя, которые дозируют ПУТ по фурмам доменной печи. Равномерный поток на каждую фурму обеспечивается статическими дроссельными задвижками и установкой компенсаторов длины пылепроводов.

Для доменных печей Алчевского меткомбината применена технология пылевдувания фирмы «KUTTNER»

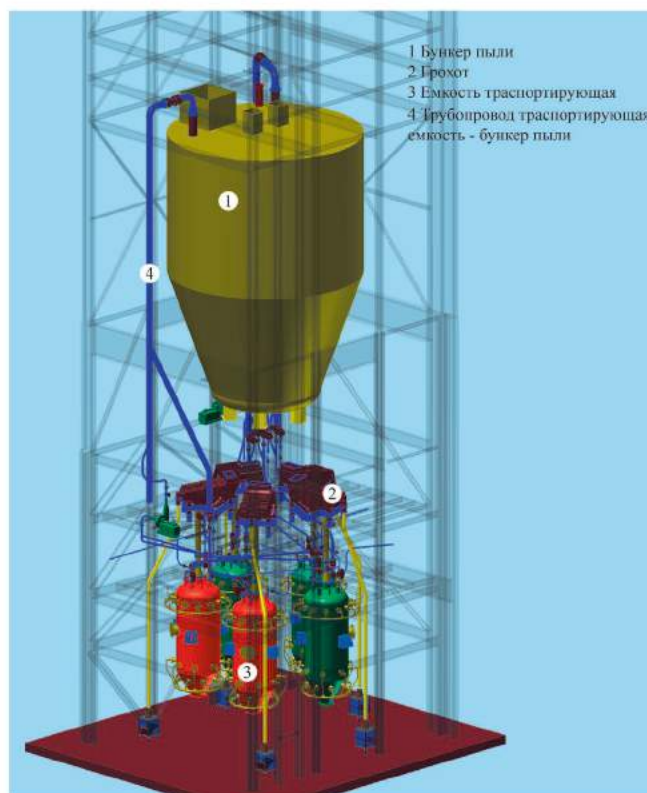


Рисунок 3 – Бункер пыли с питающими емкостями

(Германия), которая предусматривает вдувание ПУТ в фурмы доменных печей совместно с кислородом, для чего фурменные приборы оборудуются системой окси-коул (рис. 5).

Сопло окси-коул состоит из двух труб. По внутренней трубе подается смесь угля с транспортным газом (азотом), а по внешней трубе – кислород. Высокая концентрация кислорода вокруг вдуваемого угля приводит к более быстрому возгоранию угля и полному его сгоранию в печи.

Показатели работы доменных печей и экономия энергоресурсов, принятые в проекте установки вдувания ПУТ для доменных печей ПАО «Алчевский меткомбинат», приведены в табл. 2.

При вдувании ПУТ до 170 кг/т чугуна удельный расход кокса на доменных печах № 1, 3, 4 и 5 ориентировочно снижается на 15–20 %. Ежегодная экономия составит порядка 400 тыс. т кокса и 450 млн м<sup>3</sup> природного газа.

Таблица 2 – Показатели экономии энергоресурсов доменных печей № 1, 3, 4 и 5 ПАО «Алчевский меткомбинат»

Вид ресурсов	Единица измерения	Потребление энергоресурсов		Изменение потребления (+ увеличение; – уменьшение)	
		до мероприятия	после мероприятия	в натуральных единицах измерения	тыс. т у.т./год
Пылеугольное топливо	тыс. т/год	–	869	+869	+634,37
Кокс скиповый	тыс. т/год	2388,35	1992,9	-395,45	-387,5
Природный (технологический) газ	млн м <sup>3</sup> /год	450,47	–	-450,47	-527,05
ИТОГО					-280,2

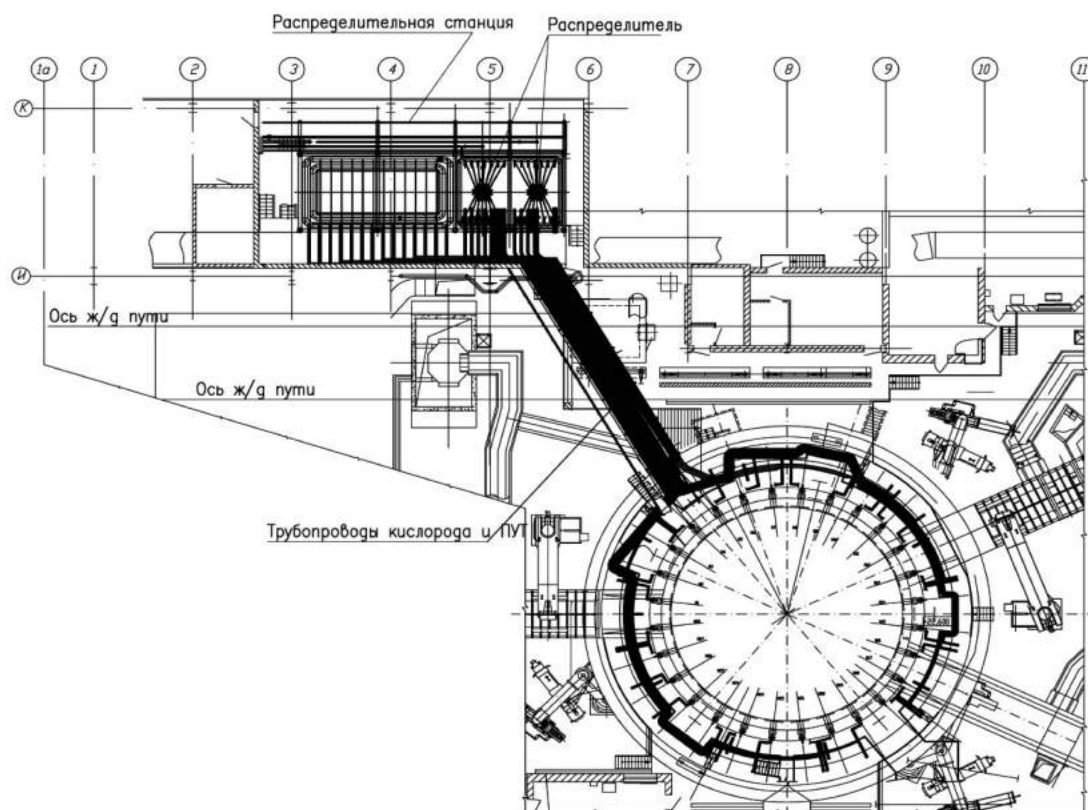


Рисунок 4 – Транспортирование ПУТ от распределительной станции к фурменным приборам доменной печи

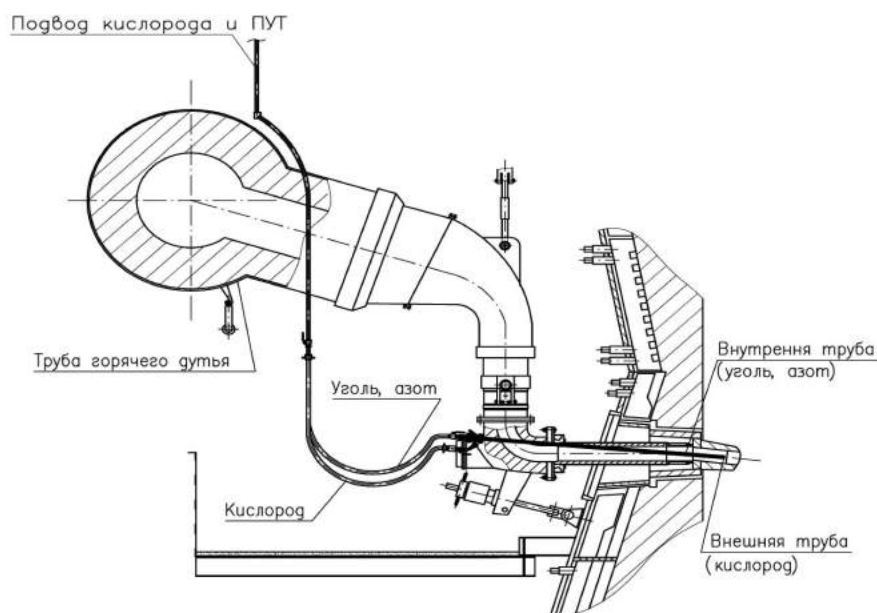


Рисунок 5 – Фурменный прибор с системой окси-коул

В 2009 г. введена в эксплуатацию установка вдувания ПУТ в доменные печи № 1 объемом 3000 м<sup>3</sup> и № 5 объемом 1719 м<sup>3</sup>. В настоящее время на печах достигнут расход ПУТ 150 кг/т чугуна, а расход кокса снизился до 400 кг/т чугуна. При этом природный газ в доменные печи не вдувался.

Продолжается проектирование и начато строительство установки вдувания ПУТ для доменных печей № 3 и 4.

Качественно оценить эффективность пылеугольной технологии возможно исходя, прежде всего, из реально многолетнего промышленного опыта ПАО «ДМЗ» и зарубежных стран.

Опыт ПАО «ДМЗ» за последние несколько лет показывает, что в реально сложившихся условиях работы доменного цеха в Украине возможно эффективное вдувание в горн до 140–160 кг ПУТ на 1 т чугуна, что в

комплексе с компенсирующими мероприятиями определенно снижает расход кокса с 526 до 390 кг/т чугуна, природного газа – с 88 м<sup>3</sup> до полного исключения его использования в доменном производстве, при этом качество чугуна и производительность печи остаются на том же уровне либо повышаются [3].

Для максимального и эффективного перехода на технологию «ПУТ+кислород» главными компенсирующими факторами влияния ПУТ на доменный процесс являются:

- повышение качества кокса, прежде всего – фракционного состава, показателей прочности и истираемости;
- улучшение фракционного состава железорудных материалов;
- подбор и оптимизация характеристик углей для приготовления ПУТ, отвечающих требованиям технологии по фракционному составу, влажности и содержанию золы и серы;
- повышение температуры дутья до 1100–1300 °С с содержанием кислорода до 28 %.

### ВЫВОДЫ

Вдувание ПУТ является эффективным способом экономии энергоресурсов в доменном производстве, так как предусматривает замену дорогостоящего кокса более дешевым топливом. Кроме того, технология пылевдувания позволяет снизить или полностью вывести из технологического процесса природный газ.

Технология доменной плавки с вдуванием в горны печей около 2,5 млрд м<sup>3</sup> природного газа экономически менее эффективна по сравнению с вдуванием ПУТ. Определяющие показатели, характеризующие преимущества ПУТ по сравнению с природным газом, – возможность замены кокса в 2–3 раза меньшим количеством ПУТ и наличие в Украине значительных запасов углей для приготовления ПУТ, отвечающего требованиям доменной технологии.

Показано актуальність технології доменної плавки з використанням пиловугільного палива. Надано принципів технологічну схему приготування пиловугільного палива, а також технологію пиловдування фірми «KUTTNER» (Німеччина). Розглянуто компенсуючі фактори впливу пиловугільного палива на доменний процес.

Технология вдувания ПУТ в доменные печи – приоритетное направление в энергосбережении на металлургических предприятиях Украины.

В настоящее время созданы все предпосылки для развития данной технологии: разработано и освоено оборудование для реализации процесса, имеется необходимая сырьевая база, освоена технология доменной плавки с вдуванием в горн до 120–180 кг ПУТ на 1 т чугуна, которая подтвердила высокую экономическую эффективность.

Теоретический анализ и промышленный опыт подтверждают, что потенциальные возможности технологии вдувания ПУТ существенно превышают достигнутый уровень.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шаповалова, Н.Г. Использование пылеугольного топлива на металлургических предприятиях Украины / Н.Г. Шаповалова // Экология и промышленность. – 2011. – № 2. – С. 54–57.
2. Сталинский, Д.В. Опыт УкрГНТЦ «Энергосталь» в решении экологических и энергетических проблем при строительстве и реконструкции металлургических предприятий / Д.В. Сталинский, В.А. Ботштейн // Экология и промышленность. – 2010. – № 2. – С. 5–12.
3. Филатов, Ю.В. Разработка, внедрение и эффективность технологии доменной плавки без вдувания в горн природного газа / Ю.В. Филатов, А.В. Емченко, В.Е. Попов, А.И. Коломийченко, А.В. Кузин, И.В. Мишин, И.В. Шульга // Доменное производство : сырьевые и топливные базы, капитальные ремонты, практические вопросы технологии и управления : IV Междунар. Конгресс по агло-коксо-доменному производствам, 16–20 мая 2011 года, Ялта, Украина. – Д. : Объединение производителей чугуна, 2011. – С. 10–20.

*Поступила в редакцию 15.04.2012*

The urgency of blast furnace process with using coal injection is shown. Schematic flow diagram of pulverized coal preparing as well as technology of coal injection by «KUTTNER» (Germany) are presented. Compensating factors of coal injection influence on blast furnace process are considered.