



УДК 669.162.267.4

**А.А. ПАВЛЕНКО**, главный инженер структурного подразделения, **Н.Г. ШАПОВАЛОВА**, начальник отдела Украинский государственный научно-технический центр «Энергосталь» (УкрГНТЦ «Энергосталь»), г. Харьков  
**Б.П. КРИКУНОВ**, к.т.н., технический директор, **В.Е. ПОПОВ**, начальник цеха Филиал «Металлургический комплекс ЗАО «Донецксталь» – МЗ», г. Донецк

## ОПЫТ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ УСТАНОВОК ПРИГОТОВЛЕНИЯ И ВДУВАНИЯ ПЫЛЕУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА В ГОРН ДОМЕННЫХ ПЕЧЕЙ

В статье показана актуальность технологии доменной плавки с применением пылеугольного топлива в условиях Украины. Представлена принципиальная технологическая схема приготовления и вдувания пылеугольного топлива в доменные печи. Дано описание работы реконструированной установки ЗАО «Донецксталь» – МЗ.

**черная металлургия, доменная плавка, пылеугольное топливо (ПУТ), природный газ, кокс, экономия, приготовление ПУТ**

Эффективность и перспективы современной технологии выплавки чугуна определяются уровнем производительности доменных печей, а также расходом кокса и природного газа на 1 т чугуна. Так, например, по балансу расхода природного газа на ОАО «Алчевский меткомбинат» доменным цехом потребляется до 40 % от общей потребности комбината.

В настоящее время в Украине, в связи с дефицитом и высокой стоимостью природного газа и коксующихся углей, освоение процесса вдувания пылеугольного топлива (ПУТ) в доменные печи является одной из первоочередных задач металлургии.

Традиционная технология доменной плавки с вдуванием в горн природного газа требует на реализацию в Украине ежегодно около 3,0 млрд м<sup>3</sup> газа и менее эффективна по сравнению с вдуванием ПУТ.

Применение ПУТ из углей неспекающихся марок при расходе 150–250 кг/т чугуна и осуществлении компенсирующих мероприятий позволит исключить природный газ из состава дутья, снизить расход кокса на 30–50 %, качественно улучшить другие технико-экономические показатели доменной плавки [1]. В последние годы ПУТ используют уже более чем в 25 развитых странах мира, с его применением ежегодно выплавляется около 300 млн т чугуна, а расход ПУТ на 1 т чугуна достиг 200–260 кг.

В Украине также начато проектирование и строительство установок вдувания ПУТ в доменные печи на большинстве металлургических предприятий. В 2009 г. на ОАО «Алчевский меткомбинат» пущена в эксплуатацию первая очередь установки, обеспечивающая вду-

вание ПУТ в доменные печи №№ 1, 5. В период 2003–2008 г. реконструирована действующая установка на ЗАО «Донецксталь» – МЗ.

После успешного освоения установки приготовления и вдувания ПУТ в доменные печи на ЗАО «Донецксталь» – МЗ в 80-е годы прошлого столетия прорабатывалось и выполнялось рабочее проектирование подобных установок практически на всех предприятиях металлургического комплекса Украины.

Для существенного сокращения затрат на строительство и эксплуатацию установки размещались вблизи доменного цеха, в основном – на рудном дворе, и использовались энергоносители с существующими на предприятии параметрами.

Прорабатывался также вопрос строительства централизованных заводов приготовления ПУТ в районах углеобогатительных фабрик или на территории коксохимических заводов, при этом требовалось создание специальных емкостей для перевозки подготовленного ПУТ к доменным цехам металлургических предприятий железнодорожным или автотранспортом (например, на заводе Тиссен Крупп в Германии перевозка подготовленной угольной пыли осуществляется автотранспортом в специальных цистернах объемом 40–45 т).

Ранее установки проектировались на расход ПУТ от 60 до 120 кг/т чугуна, в настоящее время, спустя более чем 20 лет освоения и внедрения установок во всем мире, процесс вдувания усовершенствован, изучены и определены компенсирующие факторы. Определено, что максимальный эффект в доменном производстве достигается при вдувании от 150 до 200 кг/т чугуна.

Для обеспечения доменных печей крупных металлургических предприятий Украины потребуется ПУТ до 7,0–7,5 млн т в год. При этом заявленные мощности установок на ОАО «ММК им. Ильича», ОАО «Алчевский меткомбинат» и ОАО «Запорожсталь» составляют 1,5–2,0 млн т/год каждая, на Енакиевском метзаводе – 1,2 млн т.

Немаловажное значение имеет и сырьевая база для производства ПУТ. Основные требования к углям предъявляются по содержанию в них золы, серы и летучих. Технологически обосновано требование содержания золы в ПУТ на уровне или ниже зольности кокса, поскольку применение низкозольного ПУТ обеспечивает повышение коэффициента замены кокса до уровня 0,8–1,2.

Сернистость угля также должна быть на уровне или ниже сернистости кокса, что диктуется требованием сохранения качества чугуна по содержанию серы. На ЗАО «Донецксталь» – МЗ длительное время использовались тощие угли с содержанием серы – 1,4 %. Учитывая, что ресурсы данного вида сырья ограничены, при массовом внедрении технологии с дуванием ПУТ возможно использовать смесь углей с соответствующей характеристикой. Требования к содержанию летучих в угле зависят от технологических условий доменного процесса.

В качестве исходных данных для проектирования установок принимаются следующие показатели качества угля:

- влажность не более 12 %;
- зольность не более 12 %;
- сера не более 1,5 %;
- летучие вещества 14–38 %;
- крупность не более 80 мм.

Ограничение содержания влаги в исходном угле обеспечивает его сыпучесть.

При использовании угля крупнее 80 мм потребуется сооружение дополнительных объектов по сортировке и дроблению, что увеличивает как капитальные затраты на строительство, так и эксплуатационные.

При выборе угольной базы учитываются также и физические свойства углей – абразивность и размолоспособность (минимальный индекс Хардгрова – размолоспособность – составляет 50 % HGI).

Длительное время на установке ЗАО «Донецксталь» – МЗ использовались концентраты тощих углей Чумаковской ЦОФ. В настоящее время в доменные печи дувается ПУТ из смеси углей марки «Т» и «Г» в соотношении 1:1.

По данным Украинского государственного научно-исследовательского углехимического института [2], ресурсы украинских малосернистых углей для технологии производства ПУТ весьма ограничены (как в настоящее время, так и в перспективе), что актуализирует решение вопроса о возможности импортирования малосернистых, прежде все-

го – тощих углей. При поставке в Украину необогащенных углей их обогащение возможно на имеющихся избыточных мощностях украинских обогатительных фабрик.

Технология подготовки ПУТ является практически безотходной: вся уловленная угольная пыль используется в доменном производстве. Запыленность отработавшего сушильного агента, выбрасываемого в атмосферу, составляет не более 20 мг/м<sup>3</sup>.

Установки по приготовлению и дуванию ПУТ в доменные печи состоят из склада угля, транспортной системы подачи угля со склада к размольной установке, бункера исходного угля, мельницы с циркуляционным контуром для газа и фильтром, бункера для измельченного и подсушенного угля, пневмотранспорта ПУТ, установки для дувания ПУТ с трубопроводами и распределителем перед доменной печью.

На ЗАО «Донецксталь» – МЗ первая отечественная установка построена на рудном дворе доменного цеха. Разгрузка угля осуществляется на железнодорожной эстакаде, затем существующим рудно-грейферным краном (РГК) формируется штабель угля, который тем же РГК передается в приемные бункера. Далее системой конвейеров уголь подается на размол и сушку, затем подготовленная угольная пыль пневмотранспортом подается к распределительно-дозировочным отделениям доменных печей и распределяется по фурмам.

В качестве транспортирующего агента ПУТ использовался осушенный сжатый воздух давлением 0,6 МПа. Транспортировка ПУТ с низкой концентрацией угольной пыли осуществлялась со скоростью 12–18 м/с; соотношение «газ – твердое вещество» составляло около 5–15 кг угля на 1 кг воздуха.

Проектная производительность данного комплекса ПУТ (140 тыс. т в год) обеспечивала дувание ПУТ до 100–110 кг/т чугуна в доменные печи № 1, 2. Усовершенствование технологии доменного процесса с применением ПУТ, проведенное ЗАО «Донецксталь» – МЗ с участием специалистов Донецкого национального технического университета, позволило увеличить расход ПУТ до 160–200 кг/т чугуна.

С целью исключения использования природного газа в доменных печах для приготовления ПУТ стали применять газовые угли с высоким содержанием летучих, в связи с чем был выполнен проект реконструкции установки, предусматривающий также увеличение ее производительности, обеспечение взрывобезопасной работы и модернизацию оборудования. Реконструкция комплекса ПУТ была осуществлена по проектам УкрГНТЦ «Энергосталь» с участием специалистов ЗАО «Донецксталь» – МЗ.

После реконструкции на складе угля все операции по формированию штабелей и выдаче угля осуществля-



ются малогабаритными мобильными автопогрузчиками с грейфером немецкой фирмы «SENEBOGEN». При этом существующий РГК можно использовать только как резервный при ремонтах погрузчиков. Для выдачи угля со склада в действующее пылеприготовительное отделение (ППО) установлен вертикальный ленточный конвейер, позволяющий организовать компактную подачу угля.

До реконструкции в ППО работало два самостоятельных блока помола и сушки угля с шаровыми мельницами ШБМ 250/390 производительностью 10 т/час каждая. При увеличении удельного расхода ПУТ до 200 кг/т чугуна потребность в ПУТ увеличилась до 36 т/час (260 тыс. т/год).

Для обеспечения указанной производительности в существующем здании установлен новый блок помола и сушки угля с шаровой мельницей ШБМ 287/470 производительностью 16 т/час.

На всех линиях помола установлены новые трехступенчатые газоочистки (циклоны ЦН-15, СКЦН и рукавный фильтр), что обеспечивает очистку от пыли отработавшего сушильного агента до 20 мг/м<sup>3</sup>. Для обеспечения пожаровзрывобезопасности системы пылеприготовления температура дымовых газов после топки снижается за счет разбавления их азотом – содержание кислорода в дымовых газах составляет не более 3 %.

Поскольку в конце системы пылеприготовления содержание кислорода в отработавшем сушильном агенте (СА) не должно превышать 16 %, для контроля на трубопроводе после газоочистки устанавливается прибор, включенный в АСУ ТП, который показывает содержание кислорода в СА. Для аэрации к бункеру пыли подводится осушенный азот; для пневмотранспорта ПУТ используется осушенная смесь сжатого воздуха с азотом (содержание кислорода – не более 16 %).

Реконструкцией пневмотрассы предусмотрена подача ПУТ по трем трубопроводам от любой линии пылеприготовления в каждый бункер запаса распределительно-дозировочных отделений (РДО) доменных печей №№ 1, 2. В каждом РДО установлены две линии распределительно-дозировочного оборудования, включающие в себя бункер запаса, промежуточный и питающий резервуары. Питающий резервуар оборудован аэрационными питателями, из которых выходит по два транспортных трубопровода вдувания

ПУТ в фурмы доменной печи. С целью равномерной подачи ПУТ в доменную печь предусматривается подключение четных фурм к одной линии РДО, нечетных фурм – к другой.

Во время реконструкции распределительно-дозировочное оборудование на всех линиях заменено новым, для контроля расхода ПУТ по фурмам установлены расходомеры. Для определения общей массы вдуваемого ПУТ промежуточный резервуар установлен на тензодатчики, с целью контроля показаний расходомеров ПУТ по фурмам доменных печей питающий резервуар также установлен на тензодатчики. Весь комплекс пылеприготовления и вдувания ПУТ оборудован АСУ ТП.

Все технологическое оборудование установки приготовления и вдувания ПУТ изготовлено заводами стран СНГ. Система автоматического управления технологическим процессом комплекса разработана и внедрена ООО НТП «Укрпромэнерго-Автоматика» (г. Харьков).

Технологическая схема комплекса приготовления и вдувания ПУТ в доменные печи ЗАО «Донецксталь» – МЗ» представлена на рис. 1.

В настоящее время комплекс работает эффективно, тонина помола и равномерность подачи ПУТ во времени и по фурмам удовлетворяют требованиям современного доменного производства, удельный расход ПУТ в отдельные периоды достигает 160–170 кг/т чугуна.

Разработанные в Украине технология и оборудование полностью учитывают существенную и принципиальную специфику отечественных и зарубежных технологических условий. Сравнительные показатели работы доменного цеха ЗАО «Донецксталь – МЗ» с применением ПУТ с показателями работы доменных цехов других предприятий Украины в 2009 г. даны в табл. 1.

В период работы доменного цеха ЗАО «Донецксталь – МЗ» в 2009 г. экономия топлива по сравнению с металлургическими предприятиями, работающими без ПУТ, составила 16,4 кг у.т./т чугуна.

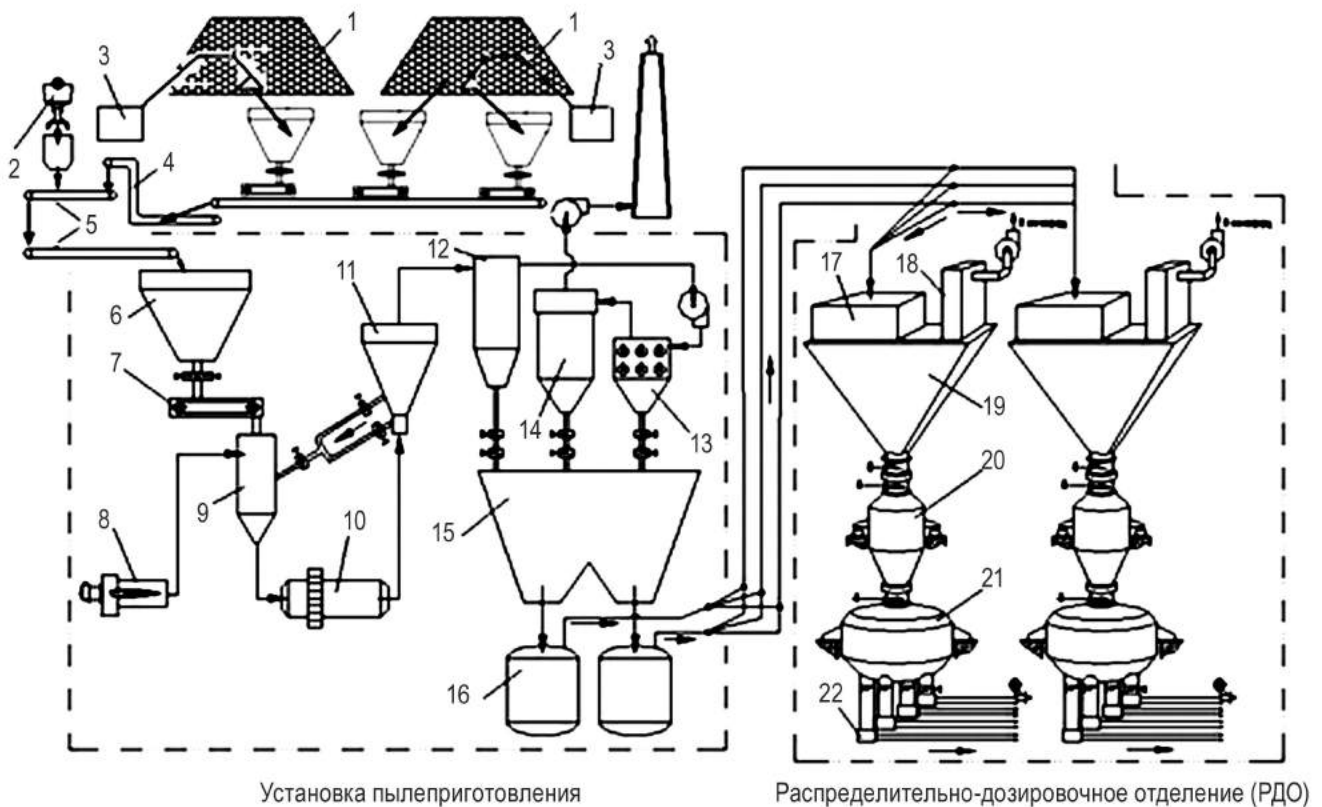
Необходимость строительства установок вдувания ПУТ в доменные печи на металлургических предприятиях Украины очевидна, и установка ЗАО «Донецксталь» – МЗ» может быть аналогом для любого предприятия.

Следует отметить, что при разработке технологии и проектировании отечественных установок для помола

**Таблица 1 – Показатели работы доменных цехов Украины в 2009 г.**

Доменные цеха	Удельный расход энергоносителей			Суммарный расход условного топлива, кг/т
	Кокса, кг/т	Природного газа, м <sup>3</sup> /т	ПУТ, кг/т	
Доменный цех ЗАО «Донецксталь»	477	0	127	585,3
Доменные цеха Украины (без ЗАО «Донецксталь»)	543,7	54,2	0	601,7
Разность	-66,7	-54,2	+127	-16,4

\* Показатели расхода кокса и сокращения потребления ПГ были достигнуты поэтапно, благодаря целенаправленной работе инженеров и исследователей завода по подбору оптимальных параметров доменной плавки и состава угля.



**Рисунок 1 – Технологическая схема установки вдувания ПУТ в доменные печи ЗАО «Донецксталь – МЗ»:**

1 – склад угля; 2 – рудно-грейферный перегружатель; 3 – автопогрузчик, 4 – вертикальный конвейер; 5 – ленточный конвейер; 6 – бункер исходного угля; 7 – ленточный питатель; 8 – топка; 9 – устройство для нисходящей сушки; 10 – мельница шаровая барабанная; 11 – сепаратор пылевой СПЦВ; 12 – циклон пылевой; 13 – циклон СКЦН; 14 – рукавный фильтр; 15 – бункер пыли; 16 – насос камерный пневматический ТА-29А; 17 – осадительная камера; 18 – аспирационная установка; 19 – бункер запаса ПУТ; 20 – промежуточный резервуар; 21 – питающий резервуар; 22 – аэрационный питатель для угольной пыли

и сушки угля целесообразно предусматривать валково-тарельчатые мельницы, которые имеют ряд преимуществ перед шаровой мельницей. Эксплуатационные расходы, в основном за счет меньшего потребления электроэнергии, ниже на 7–10 % по сравнению с шаровой мельницей. Необходимо отметить, что при эксплуатации валково-тарельчатых мельниц возрастают требования к качеству размалываемых углей по гранулометрическому составу. В исходном угле должно быть минимальное содержание крупных фракций (более 80 мм) и мелких пылевидных (менее 6 мм).

**ВЫВОДЫ**

1. Использование в доменных печах пылеугольного топлива является одним из основных направлений энергосбережения. Строительство установок по вдуванию ПУТ в доменные печи на металлургических предприятиях Украины позволит сократить производство дорогостоящего кокса и исключить потребление природного газа при производстве чугуна.

2. Реконструированная установка вдувания ПУТ в доменные печи ЗАО «Донецксталь – МЗ» по основным определяющим параметрам отвечает требованиям современных пылеугольных установок IV поколения и может быть аналогом при проектировании и строительстве на любом предприятии.

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. **Лядский, М.В.** Экономическая эффективность использования пылеугольного топлива (ПУТ) в доменных цехах металлургических предприятий Украины / М.В. Лядский, З.К. Афанасьева, Т.А. Ивлева // *Металл и литье Украины.* – 2008. – № 11–12. – С. 8–9.
2. **Васильев, Ю.С.** Сырьевая база для технологии вдувания пылеугольного топлива в доменные печи заводов Украины / Ю.С. Васильев, И.Д. Дроздник // *Металлургические процессы и оборудование.* – 2008. – № 1. – С. 7–10.

*Поступила в редакцию 13.01.2010*



У статті показано актуальність технології доменної плавки з застосуванням пиловугільного палива в умовах України. Надано принципову технологічну схему приготування та вдування пиловугільного палива в доменні печі. Надано опис роботи реконструйованої установки ЗАТ «Донецьксталь» – МЗ».

The article shows urgency of blast-furnace melting practice with coal injection in conditions of Ukraine. Functional flowsheet of preparing and coal injection into blast-furnace hearth is presented. Operation of the reconstructed plant at JSC "Donetskstal" – Iron & Steel Works» is described.