

Д. В. Сталинский /д. т. н./,
Н. Г. Шаповалова, С. Н. Гуменная

Государственное предприятие «Украинский
научно-технический центр металлургической
промышленности «Энергосталь», г. Харьков,
Украина
e-mail: energostal@energostal.org.ua

Энергетическая эффективность использования пылеугольного топлива на металлургических предприятиях Украины

D. V. Stalinskiy /Dr. Sci. (Tech.),
N. G. Shapovalova, S. N. Gumennaya

The state enterprise «Ukrainian scientific
and technical centre of metallurgical industry
«Energostal», Kharkiv, Ukraine
e-mail: energostal@energostal.org.ua

Energy efficiency of using of powdered-coal fuel at metallurgical enterprises of Ukraine

Цель. Определение энергоэффективности установок приготовления и вдувания пылеугольного топлива (ПУТ) в доменную печь (ДП) на металлургических предприятиях Украины.

Методика. Анализ и сравнение проектных показателей расхода энергоносителей на приготовление и вдувание ПУТ в ДП.

Результаты. Снижение расхода дорогостоящего кокса и исключение использования природного газа при выплавке чугуна.

Научная новизна. Проектирование современных установок приготовления и вдувания ПУТ в ДП на отечественных металлургических предприятиях.

Практическая значимость. Возможность выбора оптимальных технологических и конструктивных решений при проектировании ГП «УкрНТЦ «Энергосталь» установок ПУТ. (Ил. 1. Табл. 1. Библиогр.: 6 назв.)

Ключевые слова: черная металлургия, доменная печь (ДП), пылеугольное топливо (ПУТ), природный газ (ПГ), кокс, энергоресурсы, энергосбережение.

Введение. Черная металлургия Украины еще недавно потребляла значительное количество энергоресурсов, в т. ч. дорогостоящего природного газа (ПГ). В структуре энергопотребления металлургического производства до 40 % общего расхода ПГ приходилось на доменные печи (ДП). Технология доменной плавки с вдуванием в горн ПГ, которого ежегодно требуется около 3 млрд м³, экономически менее эффективна по сравнению с использованием пылеугольного топлива (ПУТ) из углей неспекающихся марок [1], поэтому технология выплавки чугуна с заменой части кокса и ПГ пылеугольным топливом освоена почти всеми крупными металлургическими предприятиями Украины.

Постановка задачи. По проектам, разработанным ГП «УкрНТЦ «Энергосталь», построены и успешно эксплуатируются установки для приготовления и вдувания ПУТ в ДП на таких предприятиях, как ЧАО «Донецксталь» – металлургический завод (ЧАО «Донецксталь» – МЗ»),

ПАО «Алчевский металлургический комбинат» (ПАО «АМК»), ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог» (ПАО «АМКР»). Эти установки способны работать с применением как отечественных технологий и оборудования (ЧАО «Донецксталь» – МЗ»), так и зарубежных (ПАО «АМК», ПАО «АМКР»). Строительство установок вдувания ПУТ в ДП позволило снизить расход кокса на 14–24 % и исключить использование ПГ при производстве чугуна.

Анализ результатов. Сравнительный анализ удельного расхода энергоносителей установками приготовления ПУТ и его вдувания в ДП показал, что этот расход в значительной мере определяется конкретными условиями каждого предприятия, включая местоположение установки ПУТ, качество используемых металлошихты и кокса, технологические особенности работы ДП (температура дутья, обогащение его кислородом и др.), характеристики оборудования, влияющие на требования к параметрам энергоресурсов, и

наличие энергоносителей, удовлетворяющих этим требованиям.

Методика исследований. Сравнение технологических и конструктивных проектных решений ГП «УкрНТЦ «Энергосталь» по размещению, набору оборудования, компоновке корпусов и сооружений.

Установка для приготовления и вдувания ПУТ доменного цеха ЧАО «Донецксталь» – МЗ»

Первым в Украине применение ПУТ в доменном производстве освоило ЧАО «Донецксталь» – МЗ». Установку для приготовления и вдувания ПУТ (далее – установка ПУТ) там построили еще в 1980 г. (правда, до 2000 г. ее почти не использовали). В связи с усовершенствованием технологии доменной плавки в 2000–2005 гг. установка ПУТ ЧАО «Донецксталь» – МЗ» была реконструирована и согласно данным за 2013 г. начала обеспечивать вдувание в ДП № 1, 2 до 200 кг (на 1 т чугуна) ПУТ, содержащего в своем составе смесь углей с 20–30 % летучих веществ. Годовая проектная производительность этой установки составляет 260 тыс. т. Она оборудована автоматизированной системой управления технологическим процессом (АСУ ТП) приготовления, транспортировки и вдувания (осушенным азотом – в целях обеспечения взрывопожаробезопасности) ПУТ. В качестве сушильного агента используют дымовые газы от сжигания ПГ в топке (теплогенераторе), при этом до 50 % отработавшего сушильного агента возвращается в процесс сушки и помола.

Установка ПУТ ЧАО «Донецксталь» – МЗ» размещена на территории доменного цеха с восточной стороны рудного двора и оснащена тремя линиями помола и сушки угля, две из которых имеют производительность по 10 т/час, а третья – 16 т/час.

Для подачи ПУТ и распределения его по фурмам ДП предусмотрено распределительно-дозировочное отделение (РДО) с двумя линиями распределительно-дозировочного оборудования, включающими бункер запаса, промежуточный и питающий резервуары. Питающий резервуар оборудован аэрационными питателями с двумя транспортными трубопроводами вдувания ПУТ в фурмы ДП. Благодаря подключению четных и нечетных фурм к разным линиям РДО ПУТ подается равномерно.

Установка для приготовления и вдувания ПУТ доменного цеха ПАО «Алчевский металлургический комбинат»

Проектная производительность установки ПУТ, которая эксплуатируется в ПАО «АМК», составляет 1322 тыс. т/год. Эта установка способна обеспечивать ПУТ ДП № 1, 3–5 с расходом до 200 кг/т чугуна. Она размещена на территории

доменного цеха с юго-восточной стороны рудного двора. Технологической схемой установки предусмотрены прием и хранение исходного угля, его измельчение, сушка и вдувание ПУТ в ДП.

Исходные угли складировать по сортам в три отдельных штабеля. Оттуда угли поступают в приемно-дозировочные бункеры, из которых в определенном соотношении направляются ленточными конвейерами на углеподготовку для удаления из исходного сырья металлических и других посторонних предметов, а также крупных (размером свыше 80 мм) кусков угля (после додрабливания их возвращают на склад).

Подготовленный уголь поступает в бункер сырого угля, а затем в мельницу для размола и сушки до требуемой влажности. В доменном цехе установлено две линии размола и сушки угля: одна мельница имеет производительность 70 т/час, вторая – 100 т/час.

Для сушки угля используются дымовые газы от воздухонагревателей ДП, имеющие среднюю температуру 200 °С, а для нагрева сушильного агента – дымовые газы от сжигания доменного газа в газогенераторе. ПГ применяется только для разогрева мельницы после ее длительной остановки.

Газопылевая смесь после мельницы перемещается в рукавный фильтр, где угольная пыль отделяется от сушильного агента и осаждается в бункерах рукавного фильтра. Отработавший сушильный агент с запыленностью не более 20 мг/нм³ выбрасывается в дымовую трубу или добавляется к исходному сушильному агенту для добавления к исходному сушильному агенту для снижения его температуры.

Перед вдуванием угольная пыль проходит через сито (для отделения некондиционных частиц), после чего поступает в емкости для вдувания. Оттуда ПУТ транспортируется осушенным азотом в плотном слое по трубопроводам к стационарным распределителям ДП. На каждой печи установлены по два распределителя: от одного из них ПУТ вдувается в четные фурмы, от второго – в нечетные, что обеспечивает равномерную подачу этого топлива в ДП.

Данная установка запроектирована по технологии немецкой фирмы «Кюттнер» с использованием оборудования европейских стран. Для более полного сгорания ПУТ и увеличения коэффициента замены кокса ПУТ совместно с угольной пылью в фурмы ДП вдувается кислород (технология «окси-коул»).

Установка приготовления и вдувания ПУТ в ДП № 9 ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог»

Эта установка была запроектирована, построена и введена в эксплуатацию в 2016 г. с целью экономии кокса и ПГ, а также исключения антрацита из загрузочной шихты ДП № 9.

ДОМЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Общий вид установки приготовления и вдувания ПУТ в ДП № 9 ПАО «АМКР» показан на рис. 1.



Рис. 1. ПАО «АМКР»

Проектирование комплекса было условно разделено на три участка:

- 1) отделение приемки и накопления углей;
- 2) отделение приготовления и вдувания ПУТ в ДП № 9;
- 3) наружные сети.

Проектом отделения приготовления и вдувания ПУТ предусмотрено использование технологии фирмы Danieli Cogus и оборудования европейских стран.

Установка приготовления и вдувания ПУТ в ДП № 9

Технологическая схема отделения приемки и накопления углей, разработанная ГП «УкрНТЦ «Энергосталь», включает прием, хранение исходного угля и его подготовку по гранулометрическому составу. Для осуществления указанной технологии были построены следующие объекты:

- бункерная эстакада (семь спаренных бункеров общим объемом 700 м³) с устройством подъездных железнодорожных путей;
- система ленточных конвейеров (конвейерные галереи № 1–3);
- закрытый силосный склад (четыре силоса по 3000 т каждый);
- дробильно-сортировочное отделение;
- трансформаторная подстанция № 2;
- система энергоснабжения;
- система автоматизации, АСУ ТП;
- насосная станция автоматического пожаротушения;
- наземные коммуникации;
- аспирационные установки;
- площадка для отбора проб.

Компоновка отделения приемки и накопления углей разработана с учетом необходимости размещения объектов на территории действующего доменного цеха.

В пылеприготовительном отделении работают две независимые технологические линии: бункер сырого угля – дозирующий питатель – генератор горячего газа – валковая мельница – пылевые циклоны – рукавные фильтры – бункер ПУТ. Производительность каждой линии составляет 41,65 т/час ПУТ. Годовая производительность установки – 630 тыс. т.

Сушильным агентом являются дымовые газы от воздухонагревателей ДП. Поток этих дымовых газов с измельченным до размера 90 мкм углем подается в два пылевых циклона, а затем в рукавные фильтры. Уловленная в циклонах и фильтрах измельченная угольная пыль самотеком поступает на сита для удаления некондиционных частиц. Подрешетный продукт грохочения через поворотные клапаны направляется в бункер ПУТ объемом 628 м³, откуда угольная пыль поочередно поступает в три продувочные емкости, которые работают в непрерывном циклическом режиме, обеспечивая подачу угольной пыли из бункера ПУТ в ДП. Количество угля в продувочных бункерах контролируется при помощи тензодатчиков.

Из продувочных бункеров ПУТ в среде осушенного азота подается по двум пылепроводам на два статических дистрибьютера (распределительные устройства, обеспечивающие равномерное распределение ПУТ по инъекционным трубопроводам, подающим ПУТ в фурмы ДП).

Сравнительный анализ проектных показателей расхода топливно-энергетических ресурсов в доменном производстве исследуемых металлургических предприятий

Цель строительства установок ПУТ на всех металлургических предприятиях – исключение вдувания ПГ в ДП и замена части дорогостоящего кокса в доменной шихте. В зависимости от марки и качества вдуваемых углей коэффициент замены кокса ПУТ находится в пределах 0,8–1 [2; 3].

Установки ПУТ рассчитаны, как правило, на использование смеси углей марок «А», «Т» и «Г». Однако в процессе эксплуатации таких установок каждое предприятие выбирает угли для приготовления ПУТ, соответствующие шихтовым условиям ДП и конъюнктуре рынка.

Несмотря на то, что все рассмотренные установки рассчитаны на вдувание 200 кг ПУТ/т чугуна с тониной помола 80–90 мкм и влажностью 1,0–1,3 %, удельный расход ПУТ у них неодинаков, поскольку он зависит от качества металлошихты и кокса, а также от технологических условий работы ДП, таких как температура дутья, обогащение дутья кислородом и др. [4].

При анализе проектных показателей удельного расхода топливно-энергетических ресурсов, характерного для установок ПУТ указанных выше предприятий, выявлено, что эти показатели отличаются друг от друга (табл. 1).

Сравнительный анализ показателей расхода топливно-энергетических ресурсов разными установками ПУТ

Наименование показателя	Единица измерения	Удельный расход (проектный)		
		ЧАО «Донецксталь» – МЗ»	ПАО «АМК»	ПАО «АМКР»
Производство ПУТ	тыс. т/год	260	1322	630
ПГ	нм ³ /т ПУТ	17,2	-	2,67
Азот	нм ³ /т ПУТ	300	47	118,1
Сжатый воздух	нм ³ /т ПУТ	13 (на пневмообрушение в бункерах сырого угля)	0,4 (на ремонтные нужды)	0,4 (на ремонтные нужды)
Вода техническая	м ³ /т ПУТ	0,7	0,1	0,05
Вода питьевая	м ³ /т ПУТ	0,0006	0,0006	0,005
Электроэнергия	кВт час/т ПУТ	30	27,5	52,7
Теплоснабжение	Гкал/т ПУТ	0,03	0,005	0,0065
Дымовые газы от воздухонагревателей	нм ³ /т ПУТ	-	2058	1835
Доменный газ	нм ³ /т ПУТ	-	157,8	-
Кислород	нм ³ /т ПУТ	-	189,4 (на вдувание с ПУТ в ДП)	0,04 (на ремонтные нужды)

Согласно данным табл. 1, больше всего ПГ и азота расходует установка ЧАО «Донецксталь» – МЗ». Это объясняется тем, что сушильный агент для ее мельниц получают путем сжигания ПГ в топках, при этом дымовые газы воздухонагревателей не используются. Для снижения температуры дымовых газов до уровня 300 °С, требуемого по правилам пожаровзрывобезопасной работы установки, применяется осушенный азот.

При сопоставлении показателей, характерных для установок ПУТ ПАО «АМК» и ПАО «АМКР», видно, что первая из них менее энергоемкая, поскольку проектные показатели удельных расходов осушенного азота и электроэнергии у нее ниже (соответственно в 2,5 и 1,9 раза), чем у второй. Отметим, что ПГ на установке ПАО «АМК» не применяется.

Потребность установок ПУТ в электроэнергии зависит в основном от их расположения на генплане и набора используемого оборудования. Так как установка ПАО «АМК» размещена на рудном дворе, разгрузка угля производится при помощи существующего вагоноопрокидывателя, а операции по штабелированию и выдаче угля выполняются действующим рудно-грейферным перегружателем, что обеспечивает минимальные расстояния между местами, в которых осуществляются подготовка, помол и сушка угля. Аспирация от узлов подачи и подготовки угля отсутствует. В ПАО «АМК» азот требуемых параметров подается от существующих сетей комбината, в то время как в ПАО «АМКР» сооружены две дополнительные компрессорные станции азота.

Разница в удельных расходах азота связана с различной концентрацией пыли при ее пневмо-

транспорте до распределительных станций и в фурмы ДП, а также с дополнительным расходом азота на регенерацию рукавных фильтров газоочистки и аспирационных систем. Кроме того, для улучшения выхода сырого угля из бункеров установки ПАО «АМКР» предусмотрена импульсная продувка их азотом.

Для подогрева дымовых газов, отходящих от воздухонагревателей, на установке ПАО «АМКР» используется ПГ, а на установке ПАО «АМК» – доменный газ.

На сегодня технология вдувания ПУТ в ДП осуществлена в ПАО «Запорожсталь» [5], ПАО «Мариупольский металлургический комбинат им. Ильича» [6], ПАО «Днепропетровский металлургический комбинат им. Дзержинского», ПАО «Азовсталь» и ПАО «Енакиевский металлургический завод».

Выводы

1. Использование в ДП ПУТ является одним из основных направлений энергосбережения на металлургических предприятиях. Вдувание ПУТ в ДП позволило исключить потребление ПГ при выплавке чугуна и снизить расход кокса на 14–24 % (в зависимости от шихтовых и технологических условий работы печи).

2. Сравнительный анализ удельного расхода энергоносителей установками приготовления ПУТ и его вдувания в ДП показал, что этот расход в значительной мере определяется конкретными условиями каждого предприятия, включая местоположение установки ПУТ, качество используемых металлошихты и кокса, технологические особенности работы ДП (температура дутья, обогащение его кислородом и др.), характеристики

оборудования, влияющие на требования к параметрам энергоресурсов, и наличие энергоносителей, удовлетворяющих этим требованиям.

3. На данный момент технология доменной плавки с применением ПУТ освоена на всех крупных металлургических предприятиях Украины.

Библиографический список / References

1. Применение пылеугольного топлива в промышленности и энергетике – эффективное направление снижения расхода природного газа / Д. В. Сталинский, Ю. Г. Банников, А. З. Рыжавский, Н. Г. Шаповалова // Казантип-ЭКО-2009. Экология, энерго- и ресурсосбережение, охрана окружающей среды и здоровье человека, утилизация отходов : сб. науч. ст. XVII Междунар. науч.-практ. конф., 01-05 июня 2009 г., г. Щелкино, АР Крым / УкрГНТЦ «Энергосталь»: в 2-х т. Т. 1. – Х.: САГА, 2009. – С. 345-350.

Stalinskiy D. V., Bannikov Yu. G., Ryzhavskiy A. Z., Shapovalova N. G. *Primenenie pyleugol'nogo topliva v promyshlennosti i energetike – effektivnoye napravleniye snizheniya raskhoda prirodnogo gaza*. Kazantip-EKO-2009. Ekologiya, energo- i resursosberezheniye, okhrana okruzhayushchey sredy i zdorov'ye cheloveka, utilizatsiya otkhodov: sb. nauch. st. XVII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., 01-05 iyunya 2009, Shchelkino, AR Krym. UkrGNTTs "Energostal". Vol. 1. Kharkiv, SAGA, 2009, pp. 345-350.

2. 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. – № 12. – С. 8-9.

Lyadskiy M. V., Afanas'eva Z. K., Ivleva T. A. *Ekonomicheskaya effektivnost' ispol'zovaniya pyleugol'nogo topliva (PUT) v domennykh tsekhakh metallurgicheskikh predpriyatiy Ukrainy*. Metall i lit'e Ukrainy, 2008, no. 12, pp. 8-9.

3. Ноздрачев В. А. Перспективные технологии доменной плавки с применением кислорода и пылеугольного топлива / В. А. Ноздрачев, С. Л. Ярошевский, В. П. Терещенко. – Донецк, 1996. – С. 35-39.

Nozdrachev V. A., Yaroshevskiy S. L., Tereshchenko V. P. *Perspektivnye tekhnologii domennoy plavki s primeneniem kisloroda i pyleugol'nogo topliva*. Donetsk, 1996, pp. 35-39.

4. Перспективные технологии доменной плавки с применением пылеугольного топлива / С. Л. Ярошевский, А. В. Кузин, Н. В. Косолап, И. А. Лукьяненко // Металл и литье Украины. – 2013. – № 11. – С. 29-33.

Yaroshevskiy S. L., Kuzin A. V., Kosolap N. V., Luk'yanenko I. A. *Perspektivnye tekhnologii domennoy plavki s primeneniem pyleugol'nogo topliva*. Metall i lit'e Ukrainy, 2013, no. 11, pp. 29-33.

5. Степаненко А. Н. Проектирование, строительство и освоение комплекса ПУТ на комбинате «Запорожсталь» / А. Н. Степаненко, В. Н. Панин, А. П. Фоменко // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2014. – № 1. – С. 6-7.

Stepanenko A. N., Panin V. N., Fomenko A. P. *Proektirovaniye, stroitel'stvo i osvoeniye kompleksa PUT na kombinatye "Zaporozhstal"*. Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost', 2014, no. 1, pp. 6-7.

6. Зинченко Ю. А. Освоение технологии вдувания пылеугольного топлива при производстве чугуна в ПАО «ММК им. Ильича» / Ю. А. Зинченко, В. А. Струтинский // Металл и литье Украины. – 2013. – № 10. – С. 11-14.

Zinchenko Yu. A., Strutinskiy V. A. *Osvoeniye tekhnologii vduvaniya pyleugol'nogo topliva pri proizvodstve chuguna v PAO "MМК im. Il'icha"*. Metall i lit'e Ukrainy, 2013, no. 10, pp. 11-14.

Мета. Визначення енергоефективності установок приготування і вдування пиловугільного палива (ПВП) в доменну піч (ДП) на металургійних підприємствах України.

Методика. Аналіз і порівняння проектних показників витрат енергоносіїв на приготування і вдування ПВП в ДП.

Результати. Зниження витрат дорогого коксу і виключення використання природного газу при виплавці чавуну.

Наукова новизна. Проектування сучасних установок приготування і вдування ПВП в ДП на вітчизняних металургійних підприємствах.

Практична значущість. Можливість вибору оптимальних технологічних і конструктивних рішень при проектуванні ДП «УкрНТЦ «Енергосталь» установок ПВП.

Ключові слова: чорна металурґія, доменна піч (ДП), пиловугільне паливо (ПВП), природний газ (ПГ), кокс, енергоресурси, енергозбереження.

Purpose. Determination of the energy efficiency of preparation and injection units of powdered-coal fuel (PCF) into the blast furnace (BF) at the metallurgical enterprises of Ukraine.

Methodology. Analysis and comparison of design indicators of energy consumption for preparation and injection of PCF into BF. exclusion of use.

Findings. Reducing consumption of expensive coke and exclusion of use of natural gas at cast iron smelting.

Originality. Designing of modern installations for the preparation and injection of PCF into BF at domestic metallurgical enterprises.

Practical value. The possibility of choosing the optimal technological and structural solutions at the designing of PCF installations by SE UkrSTC «Energostal».

Key words: ferrous metallurgy, blast furnace (BF), powdered-coal fuel (PCF), natural gas (NG), coke, energy supply, energy saving.

**Рекомендована к публикации
д. т. н. В. А. Ботштейном
Поступила 20.06.2018**