

ПЫЛЕУГОЛЬНОЕ ТОПЛИВО – РЕАЛЬНАЯ И ЭФФЕКТИВНАЯ АЛЬТЕРНАТИВА ПРИРОДНОМУ ГАЗУ В МЕТАЛЛУРГИИ

С.Л. Ярошевский

Донецкий национальный технический университет

У роботі проведена порівняльна оцінка ефективності використання в доменній плавці природного газу і пиловугільного палива. Оцінено ресурси вугілля для приготування пиловугільного палива. Приведено необхідні компенсуючі заходи для впровадження технології вдмухування пиловугільного палива на доменних печах України, що не вимагають на першому етапі значних капітальних вкладень. Оцінено економічну ефективність застосування технології вдмухування пиловугільного палива.

Для черной металлургии Украины последствия подорожания природного газа (ПГ) представляются крайне неблагоприятными. Только доменные цехи ежегодно расходуют более 2,5 млрд. м³ ПГ: подорожание его на 50 \$ США определяет повышение себестоимости 1 т чугуна на 25-30 грн.

Где же выход? Насколько неожиданным является этот кризис?

Отвечая на эти вопросы лучше всего начинать от «печки», т.е. от 1957 г., когда впервые в мире в промышленном масштабе на металлургическом заводе им. Петровского (г. Днепропетровск) ПГ был успешно применен для выплавки чугуна. К 1965 г. ПГ был внедрен практически на всех доменных печах СССР, обеспечив снижение расхода кокса на 10-20 %, прирост производительности, годовой экономический эффект в размере 160 млн. рублей [1]. Вслед за СССР, данная технология столь же эффективно была опробована во многих странах мира [2].

Так была открыта первая страница в развитии качественно новой и весьма перспективной технологии – применении дополнительных видов топлива или комбинированного дутья для выплавки чугуна в доменных печах.

Эффективность использования в доменной плавке природного газа и пылеугольного топлива. Расчеты показали, что из доступных натуральных дополнительных видов топлива ПГ – наименее эффективен. Значительное снижение температуры горения и повышение

выхода горновых газов при применении ПГ, по сравнению с пылеугольным топливом (ПУТ), требуют в 2-3 раза бóльших компенсирующих изменений для сохранения базового (оптимального) режима: повышения температуры дутья или обогащения его кислородом, ресурсы которых, как правило, ограничены.

Следовательно, при прочих равных условиях в горн доменной печи можно вдувать в 2-3 раза больше ПУТ и получить при этом соответственно бóльшее снижение расхода кокса и экономический эффект [3].

Меньшие технологический и экономический эффекты от использования ПГ в определенной мере компенсировались простотой конструкций и дешевизной эксплуатации, что и способствовало его быстрому внедрению. Непреодолимым препятствием, однако, для массового промышленного внедрения ПГ в доменном производстве стал вопрос о наличии его ресурсов. Известно, что из 100 % имеющихся в земной коре запасов минеральных топлив свыше 92 % приходится на твердое топливо (угли), и только 8 % – на жидкое и газообразное (нефть и ПГ). В связи с этим промышленное внедрение плавка с использованием ПГ получила в ограниченном числе стран: Россия, Украина, США, Канада.

В связи с этим уже в 60-х годах прошлого столетия начата работа по использованию в качестве дополнительных топлив для выплавки чугуна мазута, смол, коксового газа и ПУТ с целью как замены ПГ, так и дальнейшего повышения эффективности доменной технологии. По существу, к 70-80 гг. прошлого столетия для широкого и массового промышленного внедрения осталось лишь ПУТ, ресурсы и эффективность которого качественно превосходили все другие виды дополнительных топлив.

В 1963 г. в США на металлургическом заводе в Эшленде начаты фундаментальные исследования по применению ПУТ в доменной плавке. Аналогичные работы примерно в то же время начаты в Китае. В Украине по инициативе директора ДонНИИчермета, доктора техн. наук Н.И. Красавцева данная работа начата на Донецком металлургическом заводе (ДМЗ) в том же 1963 г.

На ДМЗ доменная технология с вдуванием ПУТ прошла путь опытной и опытно-промышленной эксплуатации (1968-1978 гг.), а с 1980 г., на базе первой в Европе промышленной установки, освоена технология совместного вдувания в горн доменных печей ПГ и ПУТ на дутье, обогащенном кислородом (в дальнейшем – технология ПГ+ПУТ+O₂), позволившая удвоить эффективность использования

комбинированного дутья по сравнению с вдуванием только ПГ+O₂ [4].¹

На сегодняшний день разработаны надежное и автоматизированное взрыво-, пожаро- и экологически безопасное оборудование 4-5 поколения, полностью отвечающее требованиям доменной технологии, а также теория полной и комплексной компенсации, на основе которой возможно создание технологии, обеспечивающей замену ПУТ до 50 % и больше кокса [4-6].

Двадцатипятилетняя отечественная и зарубежная практика целиком подтверждает известные теоретические посылы об эффективности ПУТ. Технологии ПГ+ПУТ+O₂ и ПУТ+O₂ обеспечивают в 2,2-3,3 раза большую, чем при вдувании ПГ, экономию кокса (табл. 1 и 2), предопределяя возможность снижения его расхода до 250-300 кг/т чугуна.

Преимущества применения ПУТ в металлургии чугуна подтверждаются также следующими объективными данными:

- за последние 20 лет вдувание ПУТ освоено в доменных цехах более чем в 25 развитых странах мира; с его использованием в 2000 г. выплавлено около половины годовой выплавки чугуна (около 300 млн. т) [8, 13];

- расход ПУТ на 1 т чугуна достиг 170-290 кг, доля замены им кокса – 35-50 %: в ряде стран ведутся работы по качественному совершенствованию данной технологии с целью повышения доли замены кокса ПУТ до 60-70 % [8, 14, 15];

- на протяжении последних 20 лет практически все новые или реконструируемые доменные печи за рубежом строили в комплексе с современными пылеугольными установками: Испания, Бразилия, Ю. Корея, Турция и др.;

- практика зарубежных фирм в последние 20 лет подтвердила, что массовое промышленное внедрение пылеугольной технологии и соответствующее сокращение объёма производства кокса определяют для коксодоменного комплекса снижение капитальных затрат и площадей, занятых оборудованием, эксплуатационных расходов, повышение производительности труда, условия для повышения доли спекающихся углей в коксовой шихте и улучшения качества производимого кок-

¹ Разработка оборудования для вдувания ПУТ и соответствующей технологии доменной плавки осуществлены в 1968-2005 гг. Донецким металлургическим заводом, ДОННИИЧЕРМЕТОМ, Гипросталью, НПО «Укрэнергочермет», ДонНТУ (ранее ДПИ)

са, снижение загрязнения водного и воздушного бассейнов вредными выбросами (рис. 1-3).

Известно, что Германия за последние 40 лет сократила объём производства кокса более чем в 3 раза при повышении объёма производства металла, причем, именно улучшение охраны окружающей среды было основной мотивацией данной программы.

С 90-х г. прошлого века США, имеющие большие запасы своего ПГ, интенсивно строят пылеугольные установки, осваивая технологию совместного вдувания в горн ПГ+ПУТ+O₂: в 2000 г. с использованием этой технологии работали уже более 20 современных доменных печей [8].

Таким образом, по состоянию на начало XXI века Украина оказалась единственной страной в мире, использующей для вдувания в доменные печи импортный ПГ, цены на который непрерывно растут и, видимо, скоро достигнут мирового уровня.

Расход кокса на 1 т чугуна является важнейшим и определяющим показателем эффективности доменной технологии, а доля стоимости кокса и ПГ в себестоимости чугуна составляет 40-50 %. Цены на кокс на мировом рынке уже достигают 300-400 \$ США за 1 т, и будут повышаться и дальше.

В связи с этим очевидно, что несмотря на бесспорные успехи Украины в 60-70 гг. прошлого века в разработке и освоении технологии с использованием комбинированного дутья высоких параметров, в настоящее время наши доменные цехи в массовом промышленном масштабе используют наименее эффективный вариант данной технологии (вдувание ПГ+O₂), обеспечивающий замену лишь 12-17 % кокса. На сегодняшний день в совершенствовании данной технологии мы значительно отстаем от развитых капиталистических стран на 20-25 лет.

Принимая во внимание то, что на ближайшие 20-30 лет развитие и повышение эффективности пылеугольной технологии является основой технического прогресса металлургии чугуна, указанное выше отставание Украины от современного мирового уровня доменной технологии, проблемы с импортом, дефицитностью и дороговизной ПГ, коксующихся углей и кокса, очевидно, что решение вопроса о массовом промышленном внедрении пылеугольной технологии с целью замены им части или всего ПГ и значительного снижения расхода кокса, не терпит отсрочки, становится в ряд важнейших и определяющих государственных задач. Тем более, что сейчас для решения данной задачи, в отличие от 60-70-х годов прошлого столетия, имеются все необходимые предпосылки.

Оборудование. В настоящее время закончена работа по созданию надежного и автоматизированного оборудования для приготовления и вдувания ПУТ. В 1989 г. НПО «Укрэнергочермет» (Харьков) создало для фирмы «Arselor Sollak Lorraine» (Франция) узел приготовления ПУТ, успешно работающий по настоящее время. Доменные печи этой фирмы, рабочим объёмом 1335 и 1425 м³, освоили технологию с вдуванием на 1 т чугуна более 180 кг ПУТ, обеспечив снижение расхода кокса до 290-300 кг при уровне производительности 2,3-2,5 т/(м³·сутки).

Для ДМЗ в 1976 г. Гипросталь и НПО «Укрэнергочермет» спроектировали и освоили полный пылеугольный комплекс. Данный комплекс был модернизирован по проекту Гипростали в 2002 г. в соответствии с современными нормами и требованиями. Пылеугольная установка успешно работает с 1980 г. по настоящее время. Распределительно-дозировочное отделение (РДО) вдувания ПУТ в доменные печи на ДМЗ, также как и на других доменных печах в мире, (поставка фирм «Küttner», Германия и др.) обеспечивает непрерывную индивидуальную и регулируемую по фурмам и во времени подачу ПУТ (европейская схема). Получили широкое распространение также РДО с делителем потока, расположенным на отметке колошника печи, из которого осуществляется индивидуальная разводка ПУТ по фурмам (американская схема). Оба типа РДО успешно работают более чем на 120 доменных печах в мире, обеспечивая неравномерность подачи ПУТ по фурмам в пределах $\pm 5-10\%$ [3, 4, 8, 14]. Выбор того или другого типа узла вдувания определяется конкретными условиями доменного цеха, в котором планируется строительство пылеугольного комплекса.

Разработанное оборудование для производства и вдувания ПУТ 4-5 поколений полностью отвечает требованиям технологии и эксплуатации: тонина помола, распределение ПУТ во времени и по фурмам, условия сгорания, автоматизация и механизация, взрывопожаробезопасность, выбросы вредных веществ в атмосферу и др.

Предпроектная проработка показывает, что стоимость пылеугольного комплекса, мощностью по ПУТ 1 млн. т/год, примерно равна 50 млн. евро. Следовательно, первоочередное строительство такого оборудования в наиболее крупных доменных цехах Украины составляет примерно 22 млн. т или 75 % годового объёма производства чугуна и это потребует 220 млн. евро (1,3 млрд. грн.).

Технология. В ряде стран мира освоена технология с вдуванием на 1 т чугуна 150-250 кг ПУТ (второй этап пылеугольной технологии), обеспечившей снижение расхода кокса до 249-314 кг, прихода серы с

шихтой до 2-4 кг, повышение доли замены кокса ПУТ до 40-50 %, что существенно снижает себестоимость чугуна, значительно повышает рентабельность всего металлургического цикла (см. табл. 2, рис. 2). Однако, как показывают расчеты, компенсация столь значительного снижения доли кокса в шихте, обеспечение полного сгорания ПУТ в фурменных зонах, определяют необходимость реализации таких дорогостоящих мероприятий как

- повышение температуры дутья до 1100-1300 °С и содержания в нём кислорода до 25-33 %;
- повышение прочности железорудной шихты и снижение прихода с ней мелочи 5-0 мм до 1-5 %;
- обогащение железорудной шихты и снижение уровня основности шлака (CaO/SiO_2) до 1-1,15 с целью оптимизации физических свойств шлаков и снижения его выхода до 200-300 кг/т чугуна;
- ограничение прихода с шихтой на 1 т чугуна серы до 2-4 кг и щелочей до 1,5-3 кг;
- повышение горячей прочности кокса (CSR) до 60-70 % и др.

Ни в одном доменном цехе Украины в полном объёме данные мероприятия не реализованы, причем, меньше всего мировому стандарту отвечают качество железорудного сырья и кокса – определяющие компоненты доменной технологии.

Однако, опыт ОАО «ДМЗ» показывает, что в реальных сложившихся технологических условиях работы доменного цеха в Украине возможно и эффективно вдувание в горн до 120-140 кг ПУТ на 1 т чугуна (первый этап освоения пылеугольной технологии), что в комплексе с компенсирующими мероприятиями определило снижение расхода кокса на 185 кг (с 566 до 381 кг/т чугуна), ПГ – на 34 м³/т чугуна (с 99 до 65 м³/т чугуна), при этом качество чугуна и производительность печи не ухудшились (табл. 3) [4]. Компенсирующие мероприятия, которые обеспечили получение данных результатов, не требуют значительных затрат и времени, поскольку это

- оптимизация уровня теоретической температуры горения и интенсивности плавки за счет соответствующего изменения расходов ПГ, ПУТ и O₂;
- оптимизация состава шихты с целью минимизации выхода шлака и прихода мелких фракций (5-0 мм);
- вывод из шихты сырого известняка;
- переход на магнезиальные шлаки (7-10 % MgO) и снижение их основности (CaO/SiO_2) до 1,1-1,2;
- подбор и оптимизация качества угля для приготовления ПУТ;
- эффективная предварительная подготовка кокса к плавке;

– мероприятия по повышению стабильности оптимального технологического режима: измерение температуры продуктов плавки на выпуске, температуры по радиусу колошника, влажности кокса и др.

Указанные выше и другие компенсирующие мероприятия имеются в каждом доменном цехе, поэтому реализация первого этапа пылеугольной технологии (до 120-140 кг ПУТ на 1 т чугуна) принципиально возможна уже через 3-6 месяцев после ввода в эксплуатацию пылеугольной установки.

Для этого, необходимо предварительно провести в цехе целевую и конкретную разработку, испытание и подготовку к реализации соответствующих компенсирующих мероприятий и технологии доменной плавки в целом применительно к конкретным условиям данного металлургического предприятия.

Что же касается второго этапа пылеугольной технологии (150-250 кг ПУТ на 1 т чугуна), то его реализация в доменных цехах Украины также возможна и эффективна, однако для решения такой задачи необходимы значительные средства, сопоставимые со стоимостью и сроками строительства пылеугольных комплексов. Эту ещё более перспективную задачу целесообразно решать после внедрения первого этапа пылеугольной технологии.

Ресурсы углей. Массовое промышленное внедрение пылеугольной технологии в Украине потребует до 4,5-5 млн. т угля. Тем не менее, внедрение пылеугольной технологии не должно обострить дефицит углей в стране.

Известно, что на производство 1 т кокса расходуется примерно 1,3 т угольной шихты, в том числе 20-40 % коксующихся углей.

Производство 1 т ПУТ требует примерно 1,1 т угля. Коэффициент замены кокса ПУТ, зольностью 5-10 %, составляет 0,8-1,1 кг/кг [4, 14]. Следовательно, освоение в Украине первого этапа пылеугольной технологии (120-140 кг ПУТ на 1 т чугуна) для производства 22 млн. т чугуна потребует около 2,6-3,1 млн. т ПУТ или примерно 2,9-3,4 млн. т неспекающихся углей (угли марки «Г», «А» или «Г»), но одновременно предопределяет необходимость сокращения объёма производства кокса на 2,4-2,8 млн. т, что высвободит 3,1-3,6 млн. т коксошихты. Очевидно, значительная часть её – 60-70 % – состоящая из слабоспекающихся углей, может быть использована на производство ПУТ, а спекающиеся угли должны быть переданы на производство кокса с целью повышения его качества.

Последнее мероприятие также высвободит соответствующую часть слабококсующихся углей из коксовой шихты производимого кокса, которая также может быть использована для производства

ПУТ. Таким образом, при реализации в Украине первого этапа пылеугольной технологии может быть высвобождено около 3,1-3,6 млн. т коксошихты из слабоспекающихся марок углей при потребности для производства ПУТ 2,9-3,4 млн. т.

Возникающий при осуществлении данного варианта дефицит коксового газа, во-первых, может быть снижен за счет соответственного сокращения производства кокса, во-вторых, может быть «закрыт» ПГ, сэкономленным при освоении технологии с вдуванием ПУТ (0,4-0,6 м³ на 1 кг ПУТ или 0,9-1,3 млрд. м³/год).

Данный вариант внедрения пылеугольной технологии реализуется в течение последних 20 лет в США, Германии, Нидерландах и других странах, что позволило вывести из эксплуатации наиболее изношенные и приостановить намеченное строительство ряда коксохимических батарей. Это позволило значительно сократить капитальные затраты. Показано, что капитальные затраты на строительство коксохимических батарей в три раза выше, чем на строительство пылеугольной установки равной мощности (рис. 1) [14].

Необходимо отметить возможность использования для приготовления ПУТ высококачественных некоксующихся газовых углей, запасы которых в Украине значительны, не пользующихся, как правило, спросом таких массовых потребителей как металлургия, коксохимия и энергетика.

В перспективе может оказаться выгодной замена ввозимых из России дорогих и коксующихся углей, необходимых для производства кокса, более дешевыми и низкосернистыми неспекающимися углями марок «Т» для производства ПУТ.

Экономическая эффективность. Качественно оценить эффективность пылеугольной технологии можно исходя, прежде всего, из реального многолетнего промышленного опыта ОАО «ДМЗ» и зарубежных стран (опыт 1985-2004 гг.) [4, 8, 14]. Исходя из этого принимаем в целом для выплавляемого чугуна объемом около 22 млн. т в год:

- расход ПУТ 120 кг/т чугуна (уголь марки «Т», зольностью 5-8 %);
- снижение расхода ПГ на 0,4 м³/кг ПУТ;
- коэффициент замены кокса ПУТ 0,8 кг/кг;
- стоимость кокса * 1000 грн/т;
- стоимость ПГ * 600 грн за 1000 м³;
- стоимость ПУТ * 500 грн/т.

* принято по положению на январь 2006 г.

Исходя из указанных цифр, реализация пылеугольной технологии в масштабах отрасли черной металлургии Украины позволит снизить потребность кокса на 2,4 млн. т, ПГ около 1,06 млрд. м³, себестоимость чугуна примерно на 1,4 млрд. грн. Окупаемость внедрения первого этапа пылеугольной технологии составит менее 2 лет. Дальнейшее неизбежное повышение цен на энергоносители, в первую очередь на ПГ, будут соответственно повышать эффективность использования ПУТ (рис. 3).

Попутно решается задача как значительного снижения или полного исключения использования в доменном производстве ПГ, но и проблема охраны окружающей среды: сокращение годового объёма производства кокса на 2,4 млн. т обеспечит снижение выброса в окружающую среду вредных веществ на 14,8 тыс. т, в т. ч. 4,8 тыс. т сернистых соединений, 5,5 тыс. т аммиака и фенола, 1,5 тыс. т окислов азота и т.д. [16].

Эффективность использования ПУТ, приготовленного из углей марок «Г», существенно меньшая по экономии кокса и получаемому эффекту, однако вдувание 150-180 кг/т чугуна такого топлива обеспечит полный вывод из состава дутья ПГ, при сохранении или снижении базового расхода кокса.

ВЫВОДЫ

1. Технология доменной плавки с вдуванием в горн ПГ, требующая ежегодно на её реализацию примерно 2,5 млрд. м³ ПГ, в сложившихся технологических условиях менее эффективна по сравнению с вдуванием ПУТ. Определяющими показателями, характеризующими преимущества ПУТ, по сравнению с ПГ являются возможность замены ПУТ в 2-3 раза большего количества кокса, наличие в Украине значительных запасов углей для приготовления ПУТ, отвечающих требованиям доменной технологии.

2. В настоящее время в Украине созданы необходимые предпосылки для быстрого и эффективного внедрения технологии вдувания ПГ+ПУТ+O₂: разработано и освоено в промышленных условиях оборудование для реализации процесса, имеются ресурсы углей для его реализации, освоена технология доменной плавки с вдуванием в горн на 1 т чугуна до 120-140 кг ПУТ, подтвердившая высокую экономическую эффективность мероприятия, а также возможность исключить или значительно сократить использование в данной технологии ПГ.

3. Реализация технологии доменной плавки с применением ПУТ

в Украине (22 млн. т чугуна в год) уже на первом этапе позволит снизить расход кокса на 2,4 млн. т, природного газа 1,06 млрд. м³, обеспечить снижение себестоимости производимого чугуна на 1,4 млрд. грн. при сохранении базовых производительности доменных печей и качества чугуна.

4. Для реализации данной задачи необходимы капитальные вложения в размере 1,3 млрд. грн., окупаемость которых уже на первом этапе освоения пылеугольной технологии составит менее 2 лет.

5. Дальнейшее развитие и освоение второго этапа технологии с вдуванием на 1 т чугуна 150-250 кг ПУТ связано с реализацией таких компенсирующих мероприятий, как улучшение качества железорудного сырья и кокса, повышение температуры дутья и др., что в сочетании с вдуванием ПУТ позволит исключить ПГ из состава дутья, снизить расход кокса на 30-50 %, качественно улучшить другие технико-экономические показатели плавки. Реализация второго этапа пылеугольной технологии потребует дополнительных затрат на внедрение компенсирующих мероприятий, объём которых сопоставим со стоимостью пылеугольных комплексов.

Литература

1. Некрасов З.И. Опыт применения природного газа в доменном производстве // Бюллетень ЦНИИИЧМ. - 1962. - № 8. - С. 1-7.
2. Ridgion J. V. Blast - furnace performance with injection at the tuyeres // Iron and Steel Inst. - 1961. - № 2. - С. 135-143.
3. Применение пылеугольного топлива для выплавки чугуна / С.Л. Ярошевский, А.И. Рябенко, А.А. Антонов и др. - К.: Техніка, 1974. - 187 с.
4. Технология доменной плавки с вдуванием в горн пылеугольного топлива и природного газа на обогащенном кислородом дутье, обеспечивающая замену 30-40 % кокса / А.Н. Рыженков, Л.В. Савранский, С.Л. Ярошевский и др. // Металл и литье Украины. - 2005. - № 1-2. - С. 3-10.
5. Ярошевский С.Л. Выплавка чугуна с применением пылеугольного топлива. - М.: Металлургия, 1988. - 176 с.
6. Бабич А.И., Ярошевский С.Л., Терещенко В.П. Интенсификация использования пылеугольного топлива в доменной плавке. - К.: Техніка, 1993. - 199 с.
7. Основные показатели агломерационного и доменного производства, анализ выполнения норм расхода сырья и топлива при производстве железорудного агломерата и выплавке чугуна предприятия ПХО «Металлургпром» за 1 полугодие 2005 г. - Днепропетровск: ПХО «Металлургпром», 2005. - 22 с.
8. Савчук Н.А., Курунов И.Ф. Доменное производство на рубеже XXI века // Новости черной металлургии за рубежом. - 2000. - Часть II. - Приложение 5. - М.: ОАО «Черметинформация». - 42 с.
9. Renliang Z., Kezhong G. Characteristic of 200 kg/t HM PCI and Low coke rate of BF in Baosteel // 59-th Ironmaking Conference, March 26-29, 2000. - Pittsburg, PA Proceedings. - P. 321-326.
10. Influence application of the CRM blast modern at Sidmar/ G.Danloy, J. Midnon, R. Munnix u.e. // 3-rd International Conference Science and Technology

- Ironmaking, June 16-20, 2003, Proceeding, Düsseldorf.-P. 83-88.
11. Operation of Kakagova No. 1 Blast Furnace with High Pulverized Coal Rate/ K. Shibata, Y. Yamagata, R. Ito end et.// The First international congress on science and technology of Ironmaking (ICSTI'94) – Science and technology of Ironmaking toward the 21-st Century, 14-17 June, 1994. - Sendai International Centers, 1994. - P. 553-558.
 12. Fruehan R.J., Astier J.T., Steffen R. Status of reduction and smelting in the year 2000 // 4-th European Coke and Ironmaking Congress, June 19-22, 2000 Paris La Defense, France. Proceedings, Volume 1. - P. 30-41.
 13. Основные статистические данные о работе черной металлургии России и стран СНГ за период 1989 г. - 1 полугодие 2000 г. // Всероссийская научно-практическая конференция «Металлургия России: современное состояние и перспективы», 17-18 окт. 2000 г., Москва, Кремль, Госуд. Кремл. Дворец.- М.: Черметинформация, 2000.- 72 с.
 14. Использование вдувания пылеугольного топлива для оптимизации работы доменной печи / Б. Параманатан, Д. Плоой, М. Геердес и др. // Сталь. - 2005. - № 10. - С. 38-44.
 15. Amit Chatterjee. Injection in blast furnaces // Steel teems international. - 1996.
 16. Экологическая и экономическая эффективность замены части кокса пылеугольным топливом в доменной плавке / С.Л. Ярошевский, А.А. Минаев, А.И. Ковалев и др. // I Международная научно-практическая конференция «Экологические проблемы промышленных мегаполисов». – Том 2. - Донецк-Авдеевка, 01-04 июня 2004 года. – Донецк: ДонНТУ, 2004. – С. 115-119.

Таблица 1

Эффективность использования дополнительных видов топлива в доменных печах украинских металлургических предприятий [4, 7]

Показатели	Численные значения показателей за первое полугодие 2005 г.						ОАО «Донецкий металлургический завод», доменная печь № 2 *
	ОАО «МК «Запорожсталь»	КГГМК «Криворожсталь»	ОАО «МК «Азовсталь»	ОАО «МК им. Ильича»	ОАО «Алчевский металлургический комбинат»	ОАО «Енакиевский металлургический завод»	
Расход на 1 т чугуна:							
кокса, кг	503	447	515	518	491	525	381
антрацита, кг	0	42	0,7	0,4	14	6	0
сумма кокса и антрацита, кг	503	489	516	518	505	531	381
природного газа, м ³	99	87	125	93	89	118	65
кислорода, м ³	32	102	132	82	66	98	81
пылеугольного топлива, кг	0	0	0	0	0	0	138
Количество кокса, замененного дополнительным топливом, кг/т	79	69	100	75	71	94	223
Количество кокса, замененного дополнительным топливом, %	13,6	12,4	16,3	12,6	12,3	15,1	36,9

* - полезный объём доменной печи 1033 м³. Данные приведены за период 08.02-08.03.05 г.

Таблица 2

Эффективность использования дополнительных видов топлива в доменных печах зарубежных металлургических предприятий [4, 8-12]

Показатели	Численные значения показателей за 2002-2003 гг.							
	Бельгия, Sidmark, Gent A	Франция, Arselor, Dunkerque, BF-4	Франция, Arselor, Sollak, Lorraine, 6	Германия, TKS, Schwelgem, BF-1	Голландия, Corus, IJmuiden, BF-6	Китай, Baosteel, BF-1	Китай, Baosteel, BF-3	Япония, Fukuyama, 3
Рабочий объём доменной печи, м ³	2550	3940	1335	3884	2328	>4000	>4000	3223
Расход на 1 т чугуна:								
кокса, кг	314	297	299	299	285	249	274	290
антрацита, кг	0	0	0	0	0	0	0	0
сумма кокса и антрацита, кг	314	297	299	299	285	249	274	290
природного газа, м ³	0	0	0	0	0	0	0	0
кислорода, м ³	54	40	30	25	96	40	48	н.с.
пылеугольного топлива, кг	174	188	183	182	225	260	219	266
Количество кокса, замененного дополнительным топливом, кг/т	157	169	165	164	203	234	198	239
Количество кокса, замененного дополнительным топливом, %	33,3	36,3	35,5	35,4	41,8	48,5	42,0	45,2

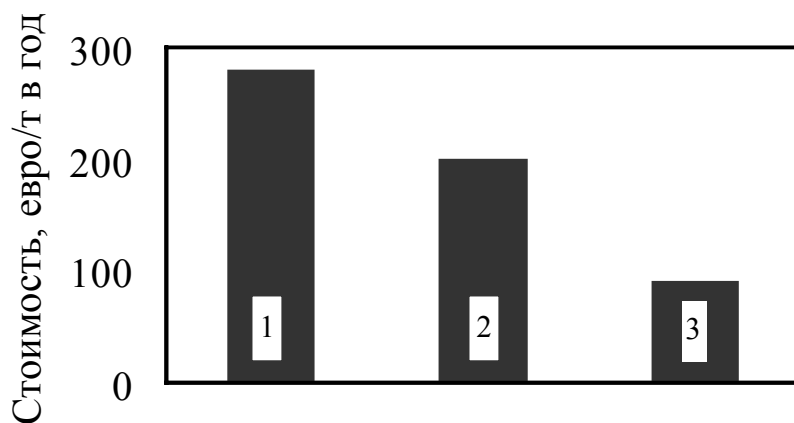


Рис. 1 Капитальные затраты на строительство коксовой батареи (1), ремонт существующей батареи (2) и установку вдувания ПУТ равной мощности (3) [14].

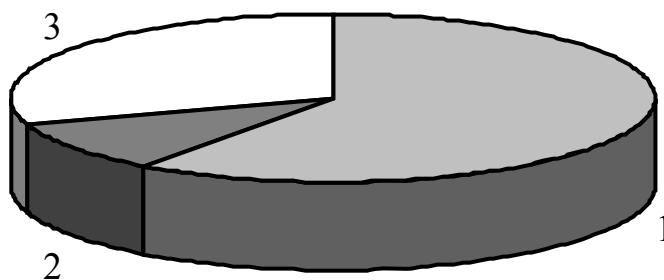


Рис. 2. Эксплуатационные расходы установки вдувания ПУТ на электроэнергию (1), техническое обслуживание (2) и энергоресурсы (3). На 1 т вдуваемого угля 2 евро, на 1 т чугуна – 0,4 евро [14].

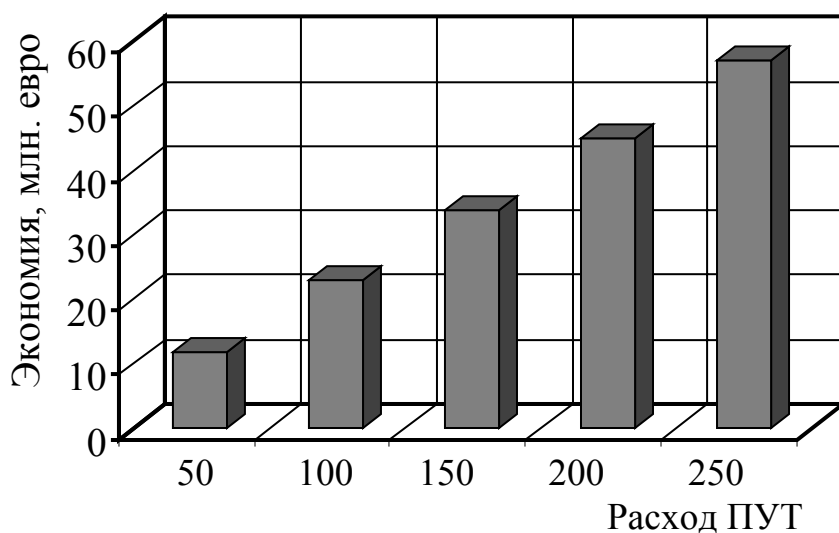


Рис. 3. Экономия при различных расходах ПУТ [14].

Показатели работы доменной печи № 2 ОАО «ДМЗ»

Показатели	Значения показателей по периодам			
	21.12.02-01.01.03	02.01.03-30.03.03	31.12.04-07.02.05	08.02.05-08.03.05
Производство чугуна, т/сутки	2046	2022	2178	2124
Расход сухого скипового кокса, кг/т (%)	566 (100)	470 (83)	395 (70)	381 (67)
Расход материалов, кг/т чугуна:				
ЮГОК	487	634	709	718
окатыши ЛебГОК	989	909	891	893
известняк обычный	192	188	2	63
известняк доломитизированный	0	0	98	0
обоженный доломит	0	0	6	0
мягкообоженный доломит	0	0	39	49
Дутье:				
температура, °С	1085	1096	1094	1085
содержание O ₂ , %	22,75	23,10	25,71	25,64
расход ПУТ, кг/т чугуна	0	96	131	138
расход природного газа, м ³ /т чугуна	99	62	69	65
Колошниковый газ:				
температура, °С	263	272	238	265
состав, %: CO ₂	15,27	16,16	19,48	20,16
H ₂	6,16	6,13	6,85	6,83
Химсостав чугуна, %				
Si	0,78	0,77	0,77	0,79
S	0,035	0,036	0,032	0,035
Выход шлака, кг/т чугуна	371	389	351	326
Содержание MgO в шлаке, %	3,42	3,34	7,11	6,27
Основность шлака CaO/SiO ₂ , ед	1,29	1,27	1,20	1,21
Основность шлака (CaO+MgO)/SiO ₂ , ед	1,38	1,36	1,38	1,37
Интенсивность плавки по углероду, кг/(м ³ ·сутки)	1080	1022	1014	971
Выход колошниковых газов, м ³ /т чугуна	2393	2178	1874	1812
Выход восстановительных газов, м ³ /т чугуна	991	871	856	825
Теоретическая температура горения, °С	2071	2098	2084	2052
Степень использования СО, %	37,3	38,5	45,2	45,7
Степень прямого восстановления, %	36,0	44,7	31,6	33,9
Расход условного топлива, кг/т чугуна	701	661	620	608
Общий приход тепла, кДж/кг чугуна	11943	11210	11123	10876