

Л.Г.Тубольцев, В.П.Корченко, В.А.Горохова

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЛОРИЙНОСТИ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОНВЕРТЕРНОГО ГАЗА

Представлены расчетные и экспериментальные данные о калорийности конвертерного газа, которые свидетельствуют о перспективности и целесообразности его использования в качестве энергетического газа в энергетическом балансе предприятия. Показано, что это позволит повысить эффективность кислородного конвертера, сократить объемы потребления покупных энергоресурсов на металлургическом предприятии.

кислородный конвертер, конвертерный газ, калорийность, энергетический баланс

Актуальность задачи. На современном этапе металлургии вопросы рационального использования и сбережения ресурсов, охраны природы, экологии стали проблемами первостепенной важности. Расходы, связанные с решением проблем экологии и охраны природы, непрерывно растут и диктуют новые принципы подхода к решению вопросов конструирования агрегатов и организации технологий производства стали. Правило инженерного подхода к организации технологий производства стали в мире часто обозначают, как правило «3–E» (Energy + Ecology + Economy), или в переводе «3–Э» (Энергия + Экология + Экономия). Практически это означает, что решение всех вопросов, связанных с организацией производства, разработкой новых технологий и новых конструкций агрегатов, должно учитывать необходимость защиты от продуктов производства воздуха, земли, воды. Технологии должны быть безотходными, удовлетворять потребности в металле не путем увеличения его количества, а за счет повышения качества при минимуме отходов. Данная тема довольно актуальна за рубежом и особенно в нашей стране, так как основная часть бюджетных средств Украины пополняется именно за счет металлургии. Как известно, любой металлургический процесс ведет за собой образование не только требуемого продукта, но и значительное количество жидких, твердых и газообразных отходов.

Процесс производства стали в конвертерах с продувкой кислородом сверху связан с образованием большого количества газа и мелкодисперсной пыли. Известно использование в качестве энергетического генераторного газа газа. Такая практика существовала ранее и в Украине до середины XX столетия, однако дешевый природный газ вытеснил генераторный газ из энергетического баланса металлургических предприятий. В связи с резким удорожанием природного газа и, по сути, «газовой войной» с Россией использование конвертерного газа в энергетическом балансе металлургических

предприятий Украины крайне актуально. В зарубежной практике конвертерный газ обеспечивает до 20% энергетического баланса металлургических предприятий.

Состояние вопроса. Конвертерные газы образуются в результате выгорания углерода чугуна. Выход и химический состав газов изменяются при продувке в зависимости от конструкции дутьевых устройств, режима расхода кислорода, химического состава чугуна и лома, температуры металлической ванны, состава извести, высоты расположения фурмы над уровнем ванны. Максимальное количество газов, отходящих их конвертера емкостью 300 т, составляет 300 тыс м³/ч. Температура газа на выходе из горловины конвертера в течение плавки повышается от 1250–1300⁰С в начале продувки, до 1600–1700⁰С в середине и конце продувки. Основными компонентами конвертерных газов являются СО и СО₂, объемное содержание которых составляет соответственно 60–85% и 10–20%. В отходящих газах в незначительном количестве могут присутствовать также О₂, Н₂, N₂. Содержание диоксида серы в газах составляет до 300 мг/м³ [1].

Первые промышленные опыты эксплуатации установок по улавливаю и очисткой конвертерных газов были организованы в бедной энергетическими ресурсами Японии в начале 60–х годов прошлого века. В настоящее время такая практика получила достаточно широкое распространение и в других странах.

Конкурирующими оказались два способа очистки: а) «мокрый» – с использованием для улавливания пыли скрубберов или труб Вентури (затем обезвоживание); б) «сухой» – с использованием электрофильтров [2]. «Мокрые» газгольдеры (иначе газгольдеры переменного объема) обычно состоят из цилиндрического вертикального резервуара (бассейна), наполненного водой, и колокола в виде цилиндрического вертикального резервуара без днища со сферической крышей. Через дно заполненного водой бассейна под колоколом предусмотрен выход газа из газопровода. При поступлении в газгольдер газа (из газопровода) колокол поднимается, при отборе газа – опускается. Основное достоинство «мокрых» газгольдеров – сравнительная простота как изготовления, так и эксплуатации.

Схема «сухого» улавливания конвертерного газа представлена на рис.1. «Сухие» (поршневые) газгольдеры представляют собой неподвижный корпус с поршнем, который поднимается при поступлении и опускается при выдаче газа. К недостаткам «сухих» газгольдеров относятся сложность монтажа и трудность обеспечения герметичности между корпусом и поршнем. [2,3].

Энергетический кризис 70–х годов ускорил распространение технологий улавливания конвертерных газов. Более того, появление технологий с заменой части чугуна более дешевым ломом привело к

необходимости усовершенствования технологии утилизации конвертерного газа. Например, в технологии КМС–процесса предусмотрено вдувание в конвертер угольной пыли или кокса в смеси с природным газом или азотом (используемым в качестве газа–носителя). В этом случае конвертер играет роль газогенератора. Выход газа регулируется расходом металлолома, угля (антрацита) и степенью дожигания газа. При 50 % скрапа в шихте и расходе угля 55–125 кг/т стали получается на 1 т стали 200–240 м³ газа состава, %: CO 64–67, H₂ 8–10, CO₂ 11–15 [3].

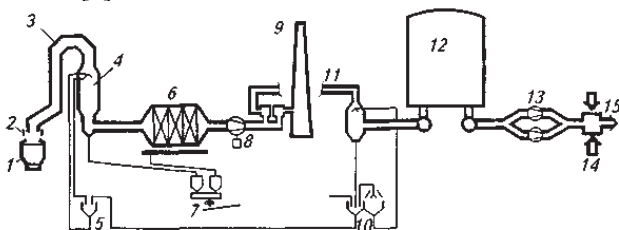


Рис.1 Схема «сухого» улавливания конвертерного газа:

1 – кислородный конвертер; 2 – подвижная юбка газохода; 3 – котел–утилизатор; 4 – испарительный охладитель; 5 – охлаждающая вода; 6 – электрофильтр; 7 – брикетирование пыли; 8 – станция переключения; 9 – дымовая труба со свечой; 10 – охлаждение воды (градирня); 11 – охладитель газа; 12 – газгольдер; 13 – газоповысительная станция; 14 – газосмесительная станция; 15 – к потребителю газа

Целью настоящего исследования являлась оценка калорийности конвертерного газа для его возможного использования при различных вариантах кислородно–конвертерной плавки в качестве энергетического газа.

Изложение основных материалов исследования. Конвертерный газ является перспективным для использования в качестве топлива, поскольку конвертеры обычно используют в качестве шихты 75–80 % жидкого чугуна, т. е. материала с высоким содержанием углерода. В период интенсивного обезуглероживания содержание CO в отходящих газах возрастает до 90 %. При использовании углеводородов в качестве охладителей фурм донного дутья в отходящих газах содержится также некоторое количество водорода.

Однако при этом приходится учитывать особенности технологического процесса выплавки стали в конвертерах: поплавленная работа; быстрая смена протекающего потока – с атмосферного воздуха на горючий газ с высоким содержанием CO и обратно на воздух; невозможность полностью исключить возникновение «хлопков»; небольшая доля периода интенсивного обезуглероживания (10–15 мин) по отношению к длительности всей операции (35–40 мин).

В условиях экспериментального конвертера емкостью 1,5 т в Институте черной металлургии НАН Украины были проведены масштабные исследования различных вариантов кислородно-конвертерного процесса. По ходу исследования и разработки вариантов процесса осуществлялся контроль химического состава металла, шлака и отходящего газа.

В настоящей статье основное внимание уделено исследованию калорийности и эффективности использования конвертерного газа как альтернативного вида энергоносителей. При комбинированной продувке в составе отходящих газов появляются элементы нейтральных газов, а также значительные количества водорода, особенно в начале продувки при малом количестве отходящего газа. При донной продувке кислородом по сравнению с верхней продувкой наблюдаются наиболее высокие содержания CO в отходящем газе.

Использование теплоносителей (природного газа, угольного топлива в кусковом и порошкообразном виде) приводит к увеличению содержания водорода (H_2) в отходящем газе. В частности, при применении природного газа и угля увеличивается содержание водорода (H_2) в отходящем газе. При использовании угольного топлива в отходящем газе с большой вероятностью могут появляться составляющие летучих угольного топлива. В состав летучих входят следующие газы: CO, CO₂, H₂, CH₄, C₂H₄, C_mH_n, H₂S, N₂. Состав и количество летучих зависят от состава и свойств угольного теплоносителя. В химическом составе отходящего газа комплекс углеводородов, в целом, будет отражаться содержанием H₂, что вполне достаточно для практического определения калорийности газа. Однако для точной оценки калорийности отходящего газа следует учитывать содержание газообразных углеводородов. Теплота сгорания газов (калорийность) представлена в таблице. Как видно из представленных данных в составе газообразных углеводородов C_mH_n могут быть газы с очень высокой калорийностью. Для расчета теплоты сгорания газообразного топлива на основании его состава можно использовать следующее уравнение:

$$Q_H^p = \sum_{i=1}^n \frac{(Q_H^p)_i k_i}{100}, \text{ ккал/нм}^3 \quad (1)$$

где $(Q_H^p)_i$ – теплота сгорания соответствующего горючего компонента газа (CO, H₂, CH₄ и др), ккал/нм³ (табл.1);

k_i – содержание горючего компонента в составе газообразного топлива, % (объемный).

Таблица. Теплота сгорания газов [4]

Газ	Химическая формула	Удельный вес кг/нм ³	Теплота сгорания, ккал/нм ³
Аргон	Ar	1,78390	–
Водород	H ₂	0,08987	2570
Кислород	O ₂	1,42895	
С е р о в о д о р о д	H ₂ S	1,53920	5585
Сернистый газ	SO ₂	2,92630	–
Азот	N ₂	1,25050	–
Воздух сухой*		1,29280	–
Окись углерода	CO	1,25000	3045
Углекислый газ	CO ₂	0,97680	–
Метан	C ₂ H ₄	0,71680	8630
Этан	C ₂ H ₆	1,35600	15180
Пропан	C ₃ H ₈	2,0037	21660
n-бутан	C ₄ H ₁₀	2,70300	28281
i-бутан	C ₄ H ₁₀	2,6680	–
n-пентан	C ₅ H ₁₂	3,45700	34818
i-пентан	C ₅ H ₁₂	–	–
Этилен	C ₂ H ₄	1,26050	14480
Пропилен	C ₃ H ₆	1,91500	20850
α -бутилен	C ₄ H ₈	–	27160
Водяной п а р	H ₂ O	0,76800	–
Ацетилен	C ₂ H ₂	1,16200	13483
Бензол	C ₆ H ₆	3,48200	34870

* Состав, % (объемн.) : N₂ – 78,03, O₂ – 20,99 ; Ar – 0,933; CO₂ – 0,030; H₂ – 0,010; Ne – 0,0018; He – 0,0005; Kr – 0,0001; x – 0,090.

Для практического использования на основании расчетов представлен график изменения калорийности газа от содержания в нем CO и H₂, исходя из суммы этих двух составляющих (рис.2). Исходя из опубликованных в литературе данных по калорийности газов различного химического состава [5] были проведены расчеты калорийности смесей этих газов с использованием выражения (1). Сравнение расчетных и экспериментальных данных показало (рис.3) хорошую их сходимости по определению калорийности газа в зависимости от концентрации его составляющих.

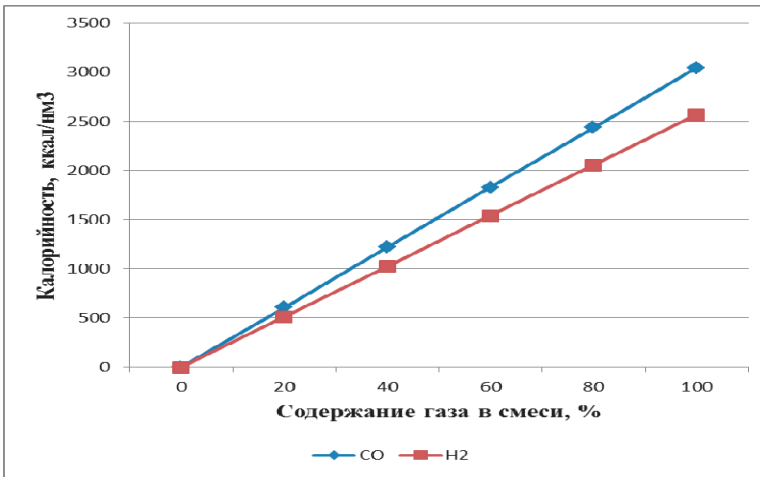


Рис.2. Зависимость калорийности отходящего газа от содержания CO и H₂.

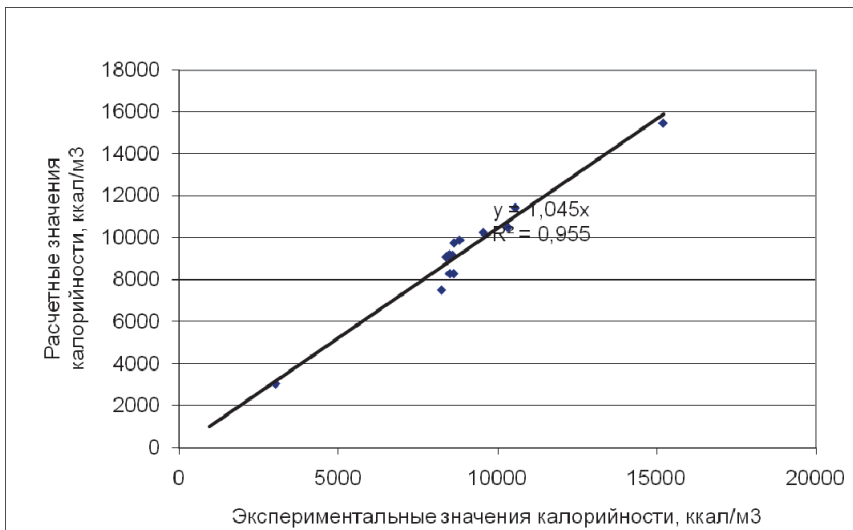


Рис.3. Сравнение расчетных и экспериментальных данных калорийности газа

В качестве примера возможных вариантов использования конвертерного газа рассмотрим проект модернизации системы утилизации конвертерного газа, разработанный для условий ОАО «Днепропетровский металлургический комбинат им.Дзержинского» (ОАО «ДМКД») (рис.4). Проект предусматривает сокращение потребления закупаемого топлива за счет эффективной утилизации топливных вторичных энергетических ресурсов металлургического производства –

конвертерного газа. Модернизация системы утилизации конвертерного газа на двух существующих конвертерах емкостью 250 т и ее внедрение на новом третьем конвертере позволит получить около 60 тыс. м³/час конвертерного газа с калорийностью 1740 ккал/м³.

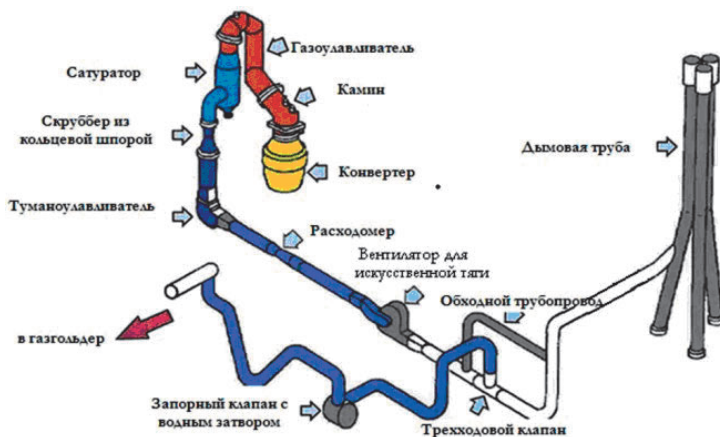


Рис.4. Проект модернизации системы утилизации конвертерного газа, разработанный для условий ОАО «ДМКД».

Проект включает реконструкцию систем утилизации газа на двух существующих конвертерах и строительство современной системы утилизации на новом конвертере. Количество установок утилизации газа – 2 единицы. Стоимость проекта – 5 млн. дол. США. Поставщик оборудования JP Steel Plantech Co. В состав проекта реконструкции системы утилизации конвертерного газа на существующих конвертерах ОАО «ДМКД» входит организация герметичного соединения конвертера и котла–утилизатора с помощью уплотняющего колпака для предотвращения доступа кислорода в котел–утилизатор, реконструкция котла–утилизатора, строительство трехходового клапана переключения потока конвертерного газа между газгольдером и факельной трубой, а также вентилятора, запорной и регулирующей арматуры. Кроме этого, для хранения конвертерного газа необходимо предусмотреть газгольдер. Общегодовое (перспективное) производство конвертерного газа составит 528 млн. м³/год. Потенциал конвертерного газа позволит генерировать около 48 МВт электроэнергии.

Рециклинг конвертерных газов и пыли по схеме VOEST–ALPINE (Австрия) представлен на рис.5.

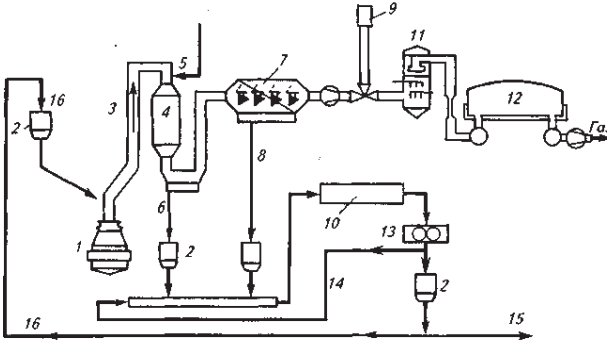


Рис.5. Рециклинг конвертерных газов и пыли по схеме VOEST-ALPINE (Австрия): 1-конвертер; 2- бункер; 3- газоотводящий тракт; 4- охладитель; 5- вода; 6- грубая пыль; 7- электростатический осадитель; 8- тонкая пыль; 9- свеча; 10- роторная печь для обжига; 11- отделение газа; 12- газгольдер; 13- пресс для брикетирования; 14- возврат пыли; 15- выгрузка; 16- брикеты

Внедрение системы утилизации конвертерного газа за счет более полного использования его физической теплоты и химической энергии позволит повысить эффективность использования энергетического потенциала конвертера в 1,2 раза.

Состав конвертерного газа позволяет использовать его (наряду с доменным) в энергогенерирующих установках для выработки электроэнергии. Для утилизации конвертерного газа может быть использована современная парогазовая установка (ПГУ) комбинированного цикла (рис.6). Основным топливом для нее служит смесь низкокалорийных доменного и конвертерного газов, обогащенная за счет добавления коксового газа.

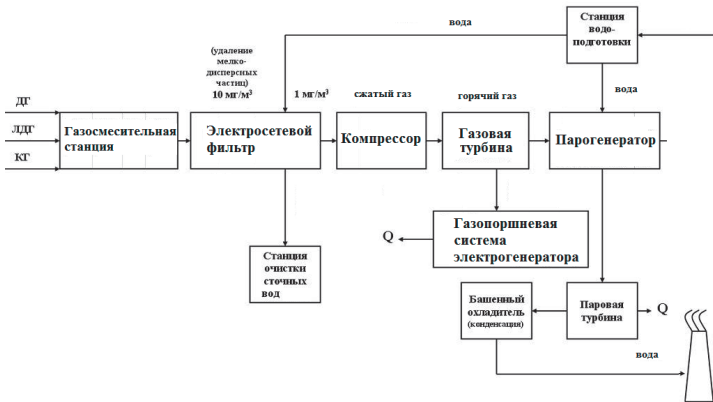


Рис.6. Принципиальная схема работы ПГУ

Заключение. Представленные данные свидетельствуют о перспективности и целесообразности использования конвертерного газа в качестве энергетического газа в энергетическом балансе предприятия, что позволит повысить эффективность кислородного конвертера, сократить объемы потребления покупных энергоресурсов на металлургическом предприятии.

Максимальное использование ВЭР (вторичных энергоресурсов) и внедрение энергосберегающих мероприятий решает одновременно экологические проблемы на предприятиях и позволяет уменьшить количество вредных выбросов в атмосферу, снизить тепловое загрязнение, которое более существенно при сжигании газов «в свече», чем при использовании их в котлах–утилизаторах. Уменьшение потребления ископаемых горючих за счет использования ВЭР позволит снизить выбросы в атмосферу токсичных оксидов азота, серы, тяжелых металлов.

1. *Андоньев С.М., Филиппев О.В.* Пылегазовые выбросы предприятий черной металлургии. – М.: Металлургия, 1979 – 192с.
2. *Карabasов Ю.С., Юсфин Ю.С., Курунов И.Ф.* Проблемы экологии и утилизации техногенного сырья в металлургическом производстве // Металлург. – 2004 №8. – С.27–33.
3. *Яковская И. А., Заруба В. К.* Ресурсосберегающая технология утилизации газообразных отходов на основе парогазовой установки. ОАО Харьковский институт «Энергопроект», Харьков. [Электронный ресурс] <http://waste.com.ua/cooperation/2008/theses/yakovskaya.html>.
4. Сталеплавильное производство. Справочник. Т.2. Под общей редакцией А.М.Самарина. – М.:Металлургия, 1964. – 1040 с. – С.539.
5. *Справочник химика.* – М.: Госкомхимиздат т. 2, 1963. – 1170 с.

*Статья рекомендована к печати
докт.техн.наук, профессором В.Ф.Поляковым*

Л.Г.Тубольцев, В.П.Корченко, В.О.Горохова

Дослідження калорійності і енергетичної ефективності використання конвертерного газу

Представлено розрахункові і експериментальні дані про калорійність конвертерного газу, що свідчать про перспективність і доцільність його використання як енергетичного газу в енергетичному балансі металургійних підприємств. Показано, що це дозволить підвищити ефективність кисневого конвертера та скоротити об'єми споживання покупних енергоресурсів.