

УДК 669.184.15

**Д.В. СТАЛИНСКИЙ**, докт. техн. наук, профессор, генеральный директор,**А.З. РЫЖАВСКИЙ**, канд. техн. наук, главный конструктор отдела,**В.Д. МАНТУЛА**, заместитель генерального директора,**А.В. ЗИМОГЛЯД**, главный инженер проекта, **Д.В. РОМАНОВ**, научный сотрудник

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

## ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА РЕКОНСТРУКЦИИ ГАЗООТВОДЯЩИХ ТРАКТОВ 160-ТОННЫХ КОНВЕРТЕРОВ

Рассмотрены варианты реконструкции газоотводящих трактов 160-тонных конвертеров с отводам конвертерных газов по системе с полным дожиганием и без дожигания монооксида углерода и приведены их сравнительные характеристики. Представлены преимущества реконструкции по системе отвода конвертерного газа без дожигания и даны рекомендации по ее применению.

**Ключевые слова:** конвертеры, конвертерный газ, полное дожигание, без дожигания, газоотводящий тракт.

Конвертерные цехи, построенные в 1960-е годы, были оснащены конвертерами средней емкости с газоотводящими трактами, работающими по системе с полным дожиганием газа. В 1970–1980 гг. 110–130-тонные конвертеры заменены на конвертеры емкостью 160 т, при этом увеличена интенсивность продувки кислородом и, соответственно, возросла пропускная способность газоотводящих трактов конвертеров с заменой охладителей газов и газоочисток. Однако в 1972 г. только конвертерный цех № 1 ОАО «Новолипецкий металлургический комбинат» (ОАО «НЛМК») по проекту ГП «УкрНТЦ «Энергосталь» был переведен на работу с частичным дожиганием, что позволило без замены газоотводящего тракта увеличить интенсивность продувки кислородом с 300 до 500  $\text{нм}^3/\text{мин}$ .

В настоящее время газоотводящие тракты 160-тонных конвертеров всех конвертерных цехов России и Украины нуждаются в существенной модернизации.

По контракту с фирмой «Siemens VAI» (Австрия), выполнявшей реконструкцию конвертерного цеха ОАО «ЕВРАЗ – Нижнетагильский металлургический комбинат» (ОАО «ЕВРАЗ – НТМК»), в 2006–2010 гг. ГП «УкрНТЦ «Энергосталь» разработана и осуществлена с модернизацией котлов-охладителей и аппаратов газоочистки реконструкция газоотводящих трактов четырех конвертеров вместимостью 160 т, обеспечивающая интенсивность продувки кислородом до 500  $\text{нм}^3/\text{мин}$  – система работы с полным дожиганием сохранена в соответствии с требованием

ОАО «НТМК». Аналогичная реконструкция в настоящее время выполняется ГП «УкрНТЦ «Энергосталь» для ОАО «Челябинский металлургический комбинат» и ОАО «ЕВРАЗ – Западно-Сибирский металлургический комбинат» (конвертерный цех № 1).

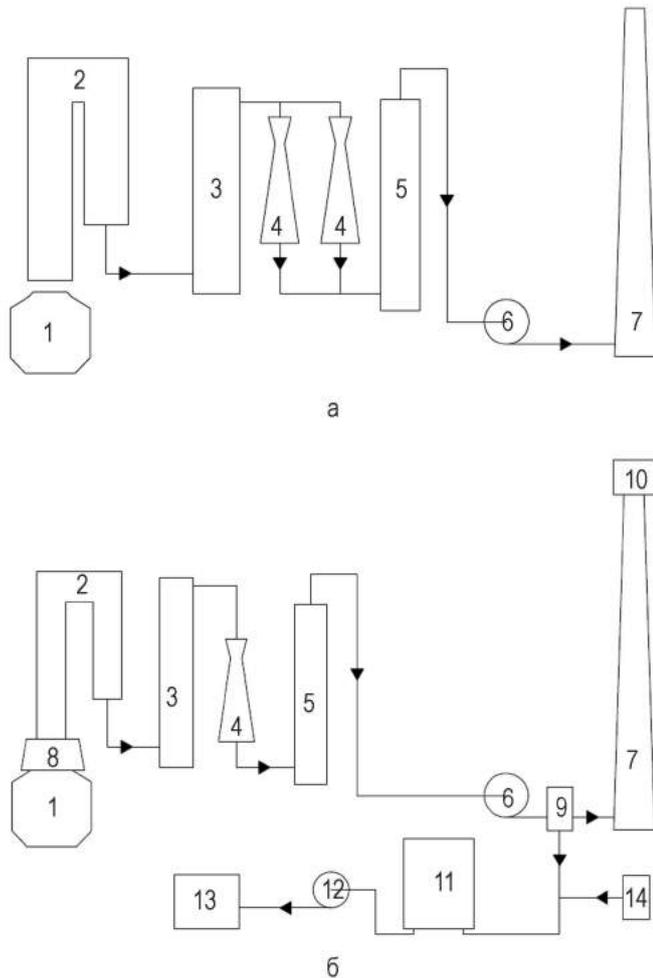
Реконструкция газоотводящих трактов 160-тонных конвертеров конвертерного цеха № 1 ОАО «НЛМК» проводится фирмой «Siemens VAI» по системе «без дожигания», при этом в перспективе предусматривается возможность использования конвертерного газа. По системе с «частичным дожиганием» реконструируются газоотводящие тракты конвертерных цехов ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог» и ПАО «Енакиевский металлургический завод».

Как правило, реконструкции проводятся в период капитального ремонта с заменой конвертера и включают:

- замену износившегося оборудования, коммуникаций и металлоконструкций;
- установку новых систем очистки газов с целью улучшения эффективности улавливания и качества очистки отходящих конвертерных газов с достижением конечной запыленности до 50–80  $\text{мг}/\text{м}^3$ ;
- оборудование конвертеров и газоотводящих трактов современными системами АСУ ТП;
- обеспечение надежного и качественного управления технологическими процессами путем повышения производительности цеха за счет сокращения цикла плавки, в т.ч. за счет увеличения интенсивности кислородной продувки до 500  $\text{нм}^3/\text{мин}$  и выше.



При реконструкции газоотводящих трактов конвертеров с увеличением интенсивности продувки кислородом и улучшением качества очистки газа перед сбросом в атмосферу возможно применение одной из двух известных, проверенных многолетней практикой систем отвода конвертерных газов (рис. 1): с полным дожиганием монооксида углерода в охладителях конвертерных газов (ОКГ) и без дожигания СО – при этом в охладителях конвертерных газов в период интенсивного газовойделения сжигается до 20 % СО.



**Рисунок 1 – Схемы газоотводящих трактов конвертеров при работе с полным дожиганием монооксида углерода (а) и без дожигания (б):**

1 – конвертер; 2 – котел-охладитель; 3–5 – аппараты газоочистки (скруббер, трубы Вентури, каплеуловитель); 6 – нагнетатель; 7 – дымовая труба; 8 – устройство уплотнения (юбка); 9 – клапанная группа; 10 – устройство дожигания (свеча); 11 – газольдер; 12 – газодувка; 13 – потребители конвертерного газа; 14 – конвертерный газ от других конвертеров

Для первого варианта (а) необходимо увеличить поверхность нагрева охладителя конвертерных газов, в случае невозможности – подавать на газоочистку большее количество осветленной воды, т.е. модернизировать

оборотный цикл. Кроме того, следует повысить напор и производительность нагнетателя. Современные газоочистки конвертерных газов, в составе которых регулируемые трубы Вентури, каплеуловители с регулируемыми завихрителями, нагнетатели с модернизированными роторами, обеспечивающими существенное повышение перепада давления на трубах Вентури при росте расхода газа при отводе газа с «полным дожиганием», позволяют повысить интенсивность продувки кислородом до 500 нм<sup>3</sup>/мин с одновременным снижением запыленности газов, выбрасываемых в атмосферу, с 150–200 до 80–100 мг/м<sup>3</sup>. Этот вариант в целом не требует дополнительных мер безопасности ведения процесса и более привычен для обслуживающего персонала.

Для применения второго варианта (б) необходимо наличие индивидуальных дымовых труб с дожигающими устройствами для каждого газоотводящего тракта, обеспечение безопасности при работе всех нагнетателей в одном помещении, построенном без учета требований взрывобезопасности, что повышает требования к герметичности газоотводящего тракта, КИП и автоматике. Однако основной недостаток систем «с полным дожиганием» – неизбежность отвода и очистки значительных объемов очищаемых газов. С целью обеспечения надежного сжигания газа воздух в газоотводящий тракт подсасывается с избытком не менее 20 %. Значительное содержание азота в воздухе повышает объем дымовых газов, проходящих через газоотводящий тракт. За счет сжигания СО энтальпия дымовых газов возрастает более чем в четыре раза по сравнению с энтальпией конвертерных газов. Указанные факторы обуславливают соответствующее увеличение размеров оборудования газоотводящего тракта, его стоимости, эксплуатационных расходов.

С середины 1970-х гг. в СНГ все газоотводящие тракты новых цехов с конвертерами вместимостью 250–400 т построены по проектам ГП «УкрНТЦ «Энергосталь» для работы по системе без дожигания СО. В период освоения оборудования газоотводящих трактов режим «без дожигания» с регулируемым отводом газов был успешно опробован на предприятиях:

- ОАО «НЛМК» и ОАО «ЗСМК» (интенсивность продувки – 1200 нм<sup>3</sup>/мин);
- ПАО «МК «Азовсталь» (интенсивность продувки – до 1500 нм<sup>3</sup>/мин);
- ОАО «Северсталь» (интенсивность продувки – до 1600–1800 нм<sup>3</sup>/мин).

Результаты испытаний газоотводящих трактов подтвердили существенные преимущества режима «без дожигания», однако в силу разных причин (в первую очередь, отсутствия необходимости в использовании конвертерного газа в качестве топлива) в указанных це-

хах конвертерный газ отводится по упрощенной системе в режиме «с частичным дожиганием CO». Особенность этого режима – отсутствие регулирования расхода газов в процессе продувки, что делает его более простым и безопасным в эксплуатации. При режиме «с частичным дожиганием» (в сравнении с полным дожиганием CO) – меньшие размеры и масса ОКГ и газоочистки, меньший расход оборотной воды для очистки газа и меньшая потребляемая мощность нагнетателя и циркуляционных насосов ОКГ. Отвод газа в системе «без дожигания» позволяет утилизировать такой ценный вторичный энергоресурс, как конвертерный газ, теплота сгорания которого более чем в два раза превосходит теплоту сгорания доменного газа.

Если реконструкция газоотводящих трактов 160-т конвертеров по системе «с дожиганием» в габаритах существующих конвертерных цехов позволяет увеличить интенсивность продувки кислородом до 500 м³/мин и очистить газ до конечной запыленности 80 мг/м³, то перевод или реконструкция газоотводящих трактов 160-т конвертеров на режим «без дожигания» позволяет увеличить интенсивность продувки кислородом вплоть до 650 м³/мин и обеспечить очистку газа до конечного содержания пыли 50 мг/м³.

Преимуществом отвода газа в режимах «без дожигания» и «с частичным дожиганием CO», по сравнению с режимом «полного дожигания», является – кроме возможного увеличения интенсивности продувки при меньшей металлоемкости газоотводящего тракта конвертера – улучшение экологических показателей работы газоотводящих трактов по выбросам пыли, монооксида углерода, оксидов азота. Выбросы CO в режиме «полного дожигания» в конвертерных цехах Украины и России при соблюдении технологических режимов и исправном оборудовании составляют 4000–8000 мг/м³. В режиме «без дожигания» специальная конструкция дожигающего устройства обеспечивает выброс CO в атмосферу в пределах действующих норм. В режиме без дожигания монооксида углерода за счет восстановительной атмосферы в течение 70 % периода продувки существенно ниже и выбросы оксидов азота.

Требования Евросоюза по обеспечению очистки газов от сталеплавильных агрегатов на уровне 50 мг/м³ уже приняты как обязательные для вновь строящихся и реконструируемых газоотводящих трактов в Украине и в скором времени будут приняты в России.

В ГП «УкрНТЦ «Энергосталь» в настоящее время разработаны конструкции труб Вентури, способные обеспечить остаточную концентрацию пыли 50 мг/м³, что в режиме отвода газов без дожигания CO реализуется технически проще:

- во-первых, меньший объем отходящих газов позволяет работать в зоне более высоких напоров, развиваемых серийно выпускаемыми в СНГ нагнетателями, что увеличивает перепад на трубах Вентури;
- во-вторых, пыль, образующаяся при отводе газов в режиме «без дожигания», состоит в большей степени из железа и его низших оксидов, которые обладают лучшими адгезионными свойствами, поэтому легче улавливаются в системах мокрой очистки газов.

В странах Европы, в Японии, Индии и ряде других стран системы «без дожигания» эксплуатируются уже многие годы, что дает возможность на большинстве установок собирать и использовать конвертерный газ в качестве топлива. В условиях значительного удорожания энергоносителей во всем мире утилизация конвертерного газа становится одной из важнейших задач, что должно найти отражение в решениях по реконструкции газоотводящих трактов действующих цехов с конвертерами вместимостью 160 т, а также вместимостью 300–400 т.

**Таблица 1 – Сравнительные технико-экономические показатели газоотводящих трактов 160-тонных конвертеров при работе с полным дожиганием (I) и без дожигания (II) при интенсивности продувки кислородом 500 м³/час (для одного конвертера)**

Показатели	Вариант I	Вариант II
Металлоемкость, т	920	600
В том числе:		
• ОКГ	420	230
• газоочистка	170	140
• газоходы	180	120
• дымовая труба (свеча)	150	110
• дожигающее устройство	–	8
Расход воды и энергоносителей (среднечасовые):		
• вода техническая, м³	72	400
• оборотная вода мокрой газоочистки, м³	650	400
• компрессорный воздух, нм³	2000	—
• азот, нм³	—	2500
• природный газ, нм³	—	60
• электроэнергия, кВт	2200	1200
Стоимость оборудования и конструкций, тыс. долл. США	10000	5500

Только во время продувки по системе «с частичным дожиганием» в 2011 г. осуществлена реконструкция газоотводящего тракта конвертера №2 ПАО «ЕМЗ», подтвердившая проектируемые показатели. В 2012 г. проведена аналогичная реконструкция для конвертера №3.

При отводе газа без дожигания CO можно использовать конвертерный газ, для чего необходимо между ды-



мососом и свечой смонтировать станцию переключения, направляющую конвертерный газ с содержанием CO менее 30 % на свечу дожигания, более 30 % – в газгольдер. Переключающие устройства всех конвертеров соединены с газгольдером. Для передачи конвертерного газа из газгольдера с целью дальнейшего использования устанавливаются газодувки, повышающие давление газа с 2 до 20 кПа. Переключающие станции, газгольдеры и газодувки необходимых параметров в Украине не производятся – поставляются из Западной Европы.

**Таблица 2 – Показатели системы использования конвертерного газа для цеха с тремя 160-тонными конвертерами производительностью 3,6 млн т жидкой стали в год**

Показатели	Величина
Число переключающих станций	3
Число газгольдеров	1
Рабочий объем газгольдера, тыс. м <sup>3</sup>	60
Число газодувок за газгольдером	2
В том числе – резервных	1
Количество используемого конвертерного газа:	
• тыс. нм <sup>3</sup> /час	37
• млн нм <sup>3</sup> /год	320
• тыс. т у.т./год	80

Розглянуто варіанти реконструкції газовідвідних трактів 160-т конвертерів з відводом конвертерних газів за схемою з повним допалюванням та без допалювання монооксиду вуглецю і наведено їх порівняльні характеристики. Надано переваги реконструкції за схемою відводу конвертерного газу без допалювання та рекомендації щодо її застосування.

Показатели	Величина
Теплота сгорания конвертерного газа, МДж/нм <sup>3</sup>	7,0
Снижение выброса парникового газа (CO <sub>2</sub> ), млн нм <sup>3</sup> в год (тыс. т/год)	180 (355)
Капитальные затраты, млн долл. США	25

## ВЫВОДЫ

При реконструкции газоотводящих трактов в цехе со 160-т конвертерами рекомендуется осуществлять перевод на работу без дожигания CO, что позволяет при капремонте каждого тракта снизить металлоемкость на 302 т, сэкономить электроэнергию – 8,5 ГВт·час/год, снизить капитальные затраты на 4,5 млн долл. США.

Отвод газа без дожигания при дополнительных затратах 190 млн грн позволит сэкономить 80 тыс. т условного топлива в год, сократить выброс CO<sub>2</sub> в атмосферу на 355 тыс. т/год, что соответствует европейским директивам, рекомендуемым в числе наилучших доступных BAT-технологий режим отвода конвертерных газов без дожигания CO.

*Поступила в редакцию 15.04 2012*

The options of reconstructing gas-outlet ducts of 160-ton converters with gas extraction under the schemes "with full afterburning" and "without afterburning" of carbon monoxide are considered; their comparative characteristics are given. The advantages of the reconstruction under the scheme "without gas afterburning" and recommendations for its use are stated.