

УДК 669.184.15+621.928.9

**В.Д. МАНТУЛА**, заместитель генерального директора,  
**А.З. РЫЖАВСКИЙ**, к.т.н., главный инженер проекта, **А.Ю. ПИРОГОВ**, заместитель генерального директора,  
**Д.В. СЕМЕНОВ**, научный сотрудник, **Д.В. РОМАНОВ**, научный сотрудник  
 Украинский государственный научно-технический центр «Энергосталь» (УкрГНТЦ «Энергосталь»), г. Харьков

## МОДЕРНИЗАЦИЯ ГАЗООТВОДЯЩИХ ТРАКТОВ КИСЛОРОДНЫХ КОНВЕРТЕРОВ ЕМКОСТЬЮ 160 Т В УСЛОВИЯХ ДЕЙСТВУЮЩЕГО ПРОИЗВОДСТВА\*

Рассмотрены два варианта реконструкции газоотводящих трактов существующих конвертерных цехов, приведены положительные и отрицательные стороны обоих вариантов. Реконструкция газоотводящих трактов с увеличением интенсивности кислородной продувки и режимом работы с полным дожиганием оксида углерода приведена на примере реконструкции газоотводящих трактов конвертеров ОАО «НТМК». Приведены основные показатели работы реконструированных газоотводящих трактов, в том числе показана эффективность очистки дымовых газов от пыли.

**конвертер, газоотводящий тракт, конвертерный цех, котел-охладитель, циркуляционные насосы, газоочистка, скруббер, труба Вентури, каплеуловитель, бак-гидрозатвор, нагнетатель, газоходы, запыленность, дожигание оксида углерода**

В настоящее время конвертерное производство является основным в структуре выплавки стали крупных производителей металла во всем мире, доля его неуклонно возрастает и в ведущих металлургических компаниях России и Украины. Нарастивание производства в уже действующих конвертерных цехах стало актуальной задачей для большинства металлургических предприятий стран СНГ.

Увеличение объемов производства в цехах, построенных в 70–90-е годы, возможно путем повышения интенсивности продувки, которое изначально закладывалось в проекты решений по газоотводящим трактам, и, следовательно, практически все конвертерные цехи СНГ имеют возможность существенно повысить интенсивность продувки кислородом (до 4–5  $\text{нм}^3/\text{т}\cdot\text{мин}$ ).

Реконструкция в действующих цехах с конвертерами емкостью 150–160 т, построенных в 60-е годы, сталкивается с значительными проблемами, которые возникают как на стадии выбора основных технических решений, так и в процессе их реализации:

- затруднено размещение нового оборудования (котел-охладитель, газоочистка, газоходы) большей производительности ввиду отсутствия свободного места;
- не всегда возможна установка оборудования большего веса из-за непрочности несущих металлоконструкций цеха;

- отсутствие необходимого количества оборотной воды на газоочистки и низкое качество воды;
- отсутствие необходимого тягодутьевого оборудования, обеспечивающего требуемый объем отходящих газов и развиваемый напор, необходимый для эффективной работы системы очистки газов.

Возможны два основных подхода к реконструкции газоотводящих трактов в таких цехах. Первый – увеличение интенсивности продувки с полной заменой котлов-охладителей и применением газоочисток новой конструкции с отводом газов с полным дожиганием оксида углерода, что увеличивает вес металлоконструкций нового оборудования, которое не всегда возможно установить в старых цехах с изношенными перекрытиями, однако реализация этого подхода более проста и привычна.

Второй – увеличение интенсивности продувки кислородом (до 600–800  $\text{нм}^3/\text{мин}$ ) с отводом газов (без дожигания оксида углерода) газоотводящим трактом новой конструкции. Этот вариант более сложный, однако, благодаря меньшей металлоемкости конструкций легче размещается в действующем цехе и в перспективе позволяет утилизировать конвертерный газ.

Более чем сорокалетний опыт разработки, внедрения и реконструкции газоотводящих трактов конвертеров 160–400 т в конвертерных цехах ОАО «ЗСМК», ОАО «НЛМК», ОАО «НТМК», ОАО «Северсталь»,

\*Статья опубликована по материалам XVII Международной научно-практической конференции «Экология, энерго- и ресурсосбережение, охрана окружающей среды и здоровье человека, утилизация отходов», г. Щелкино, АР Крым, 2009 г.

© В.Д. Мантула, А.З. Рыжавский, А.Ю. Пирогов, Д.В. Семенов, Д.В. Романов



ОАО «ММК», ОАО «ДМКД», ОАО «МК «Азовсталь» и ряда предприятий стран дальнего зарубежья имеет УкрГНТЦ «Энергосталь» – головная организация по защите воздушного бассейна предприятий горно-металлургического комплекса Украины.

Одним из примеров успешной реконструкции газоотводящих трактов конвертеров емкостью 160 т служит конвертерный цех ОАО «НТМК», в котором в 2006–2008 гг. УкрГНТЦ «Энергосталь» провел реконструкцию и вывод на оптимальные параметры работы газоотводящих трактов конвертеров №№ 1, 2, 3 садкой 160 т, работающих в режиме «полного дожигания» оксида углерода при увеличении интенсивности продувки кислородом до 500  $\text{нм}^3/\text{мин}$ . Работу по модернизации указанных газоотводящих трактов УкрГНТЦ «Энергосталь» выполнил комплексно: от разработки основных технических решений – до изготовления, шефмонтажа и пусконаладочных работ. Впервые в СНГ для конвертерного цеха ОАО «НТМК» решена задача обеспечения конечной запыленности отходящих газов до 80  $\text{мг}/\text{нм}^3$  [1].

На ОАО «НТМК» ведется технологический процесс выплавки в конвертерах стали из ванадийсодержащего чугуна (монопроцесс), из полупродукта (дуплекс-процесс), а также плавки по получению полупродукта.

Технология выплавки стали дуплекс-процессом предусматривает подачу в конвертер полупродукта в количестве 165–170 т, затем (в зависимости от выплавляемой марки стали) до начала подачи кислорода в конвертер загружаются известь, дробленый кирпич (ОКД), ожеженный известково-магнезиальный флюс (ИМФ). По ходу продувки порциями подаются известь, ОКД, ИМФ, марганцевый агломерат, доломит. Интенсивность продувки кислородом составляет 450–500  $\text{нм}^3/\text{мин}$ , продолжительность продувки – 11–13 мин.

При монопроцессе сталь выплавляют в одном конвертере из передельного чугуна. В конвертер загружают 17–25 т лома, 140–150 т чугуна, известь и 17–19 мин продувают кислородом с интенсивностью 450–500  $\text{нм}^3/\text{мин}$ .

Реконструированные газоотводящие тракты конвертеров №№ 1, 2, 3 состоят из котла-охладителя ОКГ-160У-3, мокрой газоочистки и нагнетателя 7500-11-3 с модернизированным ротором, изготовленным ОАО «Энергомаш» (г. Чудово).

Устаревшие котлы-охладители заменены новыми, типа ОКГ-160У3, совместно разработанными УкрГНТЦ «Энергосталь» и ОАО «ХК «Энергомашстрой».

Котел-охладитель рассчитан на увеличенную до 500  $\text{нм}^3/\text{мин}$  интенсивность продувки кислородом при работе в режиме «полного дожигания»; охлаждающие элементы выполнены из газоплотных мембранных панелей; предусмотрены подпружиненные крышки над

подъемным и опускным газоходами, которые могут служить противозрывными клапанами. Нижняя часть котла увязана с увеличенным габаритом нового конвертера. Мощность циркуляционных насосов увеличена с 160 до 200 кВт.

Для обеспечения эффективности очистки газов до 80  $\text{мг}/\text{м}^3$  возникла необходимость в разработке очистных аппаратов новой конструкции.

Новая система очистки, разработанная и изготовленная УкрГНТЦ «Энергосталь», состоит из орошаемого скруббера, двух прямоугольных регулируемых труб Вентури, каплеуловителя с завихрителем, баков-гидрозатворов, ловушек пленочной влаги, газоходов. Общий сборный газоход за нагнетателем и дымовая труба реконструкцией не предусматривались.

Скруббер предназначен для предварительного охлаждения газов после ОКГ от температуры 400–450 °С до температуры 60–65 °С, а также для очистки их от крупных фракций пыли. Объем скруббера был увеличен для улучшения процесса теплообмена, несмотря на крайне ограниченные возможности размещения конструкций.

После скруббера газ направляется в трубы Вентури, где доохлаждается до температуры 50–55 °С и окончательно очищается перед выбросом в атмосферу. Установлены две прямоугольные регулируемые трубы Вентури улучшенной геометрии, сечение горловины которых изменяется путем синхронного поворота двух закругленных створок (рис. 1).

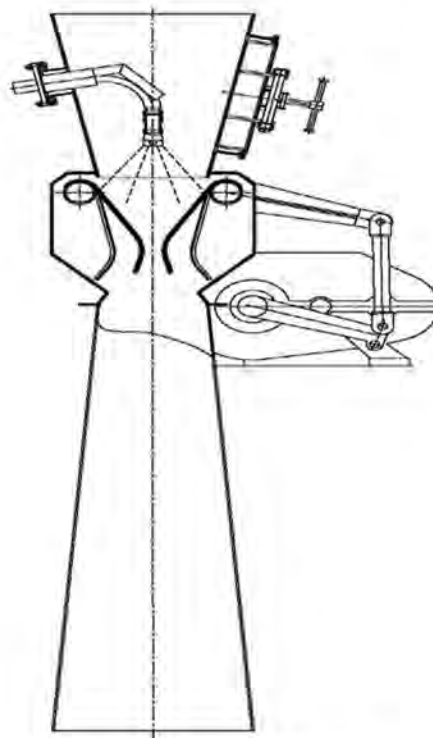


Рисунок 1 – Труба Вентури

В конфузоре каждой трубы Вентури установлено по 10 центробежных форсунок с полным факелом орошения. Поворот регулировочных створок осуществляется при помощи электропривода. Для улавливания из отходящих газов капельной влаги после труб Вентури установлен каплеуловитель с двухсекционным регулируемым завихрителем.

Вода на газоочистку подается из оборотного цикла водоснабжения. Шламовая вода после скруббера и труб Вентури попадает в баки-гидрозатворы с устройствами для перемешивания и через шламопроводы направляется в существующий оборотный цикл водоснабжения.

Согласно условиям контракта, газоочистка с новым нагнетателем и модернизированным ротором при развиваемом напоре 19 кПа должна обеспечить отвод газов в количестве 330–340 тыс. м<sup>3</sup>/час, при этом конечная запыленность газа должна составлять менее 80 мг/м<sup>3</sup>.

С целью достижения гарантированных параметров работы по очистке газов после пуска конвертеров в эксплуатацию были проведены наладочные работы на газоотводящих трактах конвертеров №№ 1, 2, 3.

Параметры работы газоотводящего тракта определялись при помощи инструментальных замеров в соответствии с общепринятыми методиками [2]. Инструментальные замеры сопоставляли с показаниями стационарных КИП. Определение конечной запыленности отходящих газов производилось в точке отбора после нагнетателя методами внутренней и внешней фильтрации с соблюдением принципа изокинетичности. Состав отходящих газов измерялся в точке отбора после нагнетателя с помощью газоанализатора дымовых газов «ДАГ-500» и «Термит 5000».

Гидравлическое сопротивление скруббера при подаче воды в количестве 170 м<sup>3</sup>/час и скорости газа в рабочем сечении 3,8–4,8 м/с изменялось от 0,8 кПа до 1,5 кПа.

Фактические гидравлические режимы работы труб Вентури на конвертерном газе получены при изменении интенсивности продувки кислородом 450–500 нм<sup>3</sup>/мин и соответствующим увеличением расхода газа при изменении ширины зазора между створками (на каждой трубе) от 120 мм до 160 мм (рис. 2), площадь сечения горловины при этом изменялась от 0,24 м<sup>2</sup> до 0,32 м<sup>2</sup>.

Гидравлическое сопротивление каплеуловителя при скорости газа в сечении аппарата до 7,0–7,5 м/с (угол наклона лопаток 50° и расход газа 340–360 тыс. м<sup>3</sup>/час) составило 0,6–0,8 кПа. Следует отметить удовлетворительную работу каплеуловителя по улавливанию капельной влаги в течение длительной эксплуатации.

При начальной средней температуре газа 400–420 °С и расходе воды, подаваемой на орошение скруббера 170 м<sup>3</sup>/час, температура газа после скруббера понижается до 60–65 °С, температура воды после скруббера на 2–3 °С ниже температуры газа. В трубах Вентури газ охлаждается на 5–7 °С: температура в летнее время составляет 54–56 °С; в зимнее время – 52–53 °С. Температура газа перед нагнетателем понижается до 49–53 °С.

В табл. 1 приведены результаты проведенных испытаний газоотводящих трактов конвертеров №№ 1, 2, 3.

По результатам проведенных испытаний был отработан оптимальный режим работы.

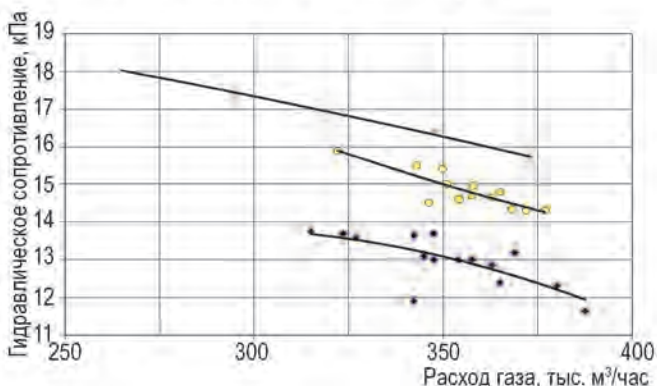
Контроль параметров работы газоотводящих трактов производился соответствующими высокоточными

Таблица 1 – Параметры работы газоотводящих трактов конвертеров

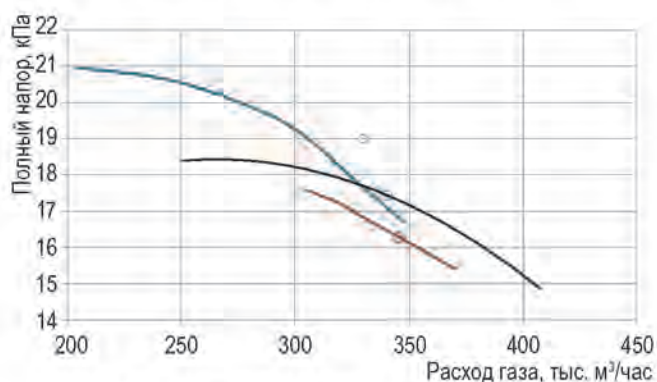
Наименование параметров	Режимы работы конвертеров				
	Проектные	№ 1	№ 2	№ 3	оптимальный режим
Расход кислорода, нм <sup>3</sup> /мин	500	450	500	500	500
Расход газов перед нагнетателем, тыс. м <sup>3</sup> /час	330–340	340	340	350	340–350
Давление в барабане-сепараторе ОКГ, мПа	2,5	0,8–1,4	0,8–1,4	0,8–1,4	0,8–2,5
Максимальная паропроизводительность, т/час	330	330	330	330	330
Расход воды на скруббер, м <sup>3</sup> /час	170	170	170	166	200
Расход воды на трубы Вентури, м <sup>3</sup> /час	330	330	330	321	300
Температура газа перед газоочисткой, °С	450	410	420	400	400
Температура газа перед нагнетателем, °С	55	52	53	50	50–52
Разрежения по тракту, кПа:					
• после котла;	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2
• после скруббера;	1,5	1,7	1,4	1,1	1,0
• после труб Вентури;	16,5	14,3	15,0	15,6	15,7
• после каплеуловителя;	17,3	15,0	16,4	17,2	16,4
• перед нагнетателем	18,1	15,5	17,2	17,5	17,2
Давление после нагнетателя	0,8–0,9	1,0	0,33	0,3	0,1
Средняя запыленность перед нагнетателем, мг/нм <sup>3</sup>	до 80	74	57	66	до 70



контрольно-измерительными приборами европейской поставки, с блокировками и сигнализацией.



**Рисунок 2 – Зависимость гидравлического сопротивления трубы Вентури от расхода газа:** 1 – конвертера № 2 (на холодном воздухе); 2 – конвертеров №№ 2, 3 (на горячем газе – II этап); 3 – конвертер № 1, 2 (на горячем газе – I этап)



**Рисунок 3 – Характеристика нагнетателей за конвертерами №№ 1, 2, 3:**

1 – характеристика нагнетателя за конвертером № 1,  $y=0,93 \text{ кг/м}^3$ ,  $t=50^\circ\text{C}$ ; 2 – характеристика нагнетателей за конвертерами № 2, 3,  $y=0,93 \text{ кг/м}^3$ ,  $t=50^\circ\text{C}$ ; 3 – паспортная характеристика нагнетателя,  $y=0,93 \text{ кг/м}^3$ ,  $t=50^\circ\text{C}$ ; 4 – рабочая точка нагнетателя по проекту; 5 – фактические рабочие точки

В объеме реконструкции разработана и внедрена система автоматизированного управления газоотводящим трактом для технологического и газоочистного оборудования, которая позволяет осуществлять комплексный подход к системе управления в увязке с АСУ «Плавка». Система АСУ ТП, разработанная и поставленная УкрГНТЦ «Энергосталь», существенно повысила надежность работы и практически исключила влияние человеческого фактора.

Для сокращения сроков выполнения комплекса работ были максимально совмещены операции по демонтажу, монтажу и пусконаладке.

Реконструкция газоотводящих трактов с переводом их в режим «без дожигания» отвода газов оксида углерода имеет ряд неоспоримых преимуществ по отношению к

первому варианту и соответствует требованиям лучших имеющихся технологий (ВАТ-технологий)

Несмотря на наличие более сложного оборудования в газоотводящих трактах и высокие требования к его эксплуатации, режим позволяет обеспечить интенсивность продувки (600–800  $\text{нм}^3/\text{мин}$ ) оборудованием меньшего веса и габаритов, проще решить проблему высокой эффективности очистки газов от пыли.

При работе в режиме «без дожигания» существенно меньшее потребление энергоресурсов (воды оборотных циклов, электроэнергии) и возможна утилизация конвертерного газа, что экономически оправдано.

В настоящее время предполагается реконструкция газоотводящих трактов конвертеров №№ 1, 2, 3 кислородно-конвертерного цеха Енакиевского металлургического завода. Увеличение интенсивности продувки до 600  $\text{нм}^3/\text{мин}$  предполагается обеспечить за счет отвода газов без дожигания оксида углерода с возможностью в перспективе утилизировать конвертерный газ.

Этот принцип работы (в сравнении с газоотводящими трактами конвертеров ОАО «НТМК») позволяет снизить металлоемкость ОКГ в три раза, а аппаратов газоочистки – в два раза, что особенно важно для условий установки на изношенных несущих металлоконструкциях цеха.

Особенностью данного проекта, в принципе отличающей его от работающих в режиме «без дожигания» газоотводящих трактов конвертеров ОАО «МК «Азовсталь», ОАО «Северсталь» и других, является использование на первом этапе реконструкции существующих нагнетателей, которые для обеспечения безопасности работы укрываются (во взрывобезопасном исполнении – специальными укрытиями с вентиляцией).

При освоении газоотводящего тракта конвертера № 1 ОАО «НТМК» выявлены следующие недостатки, учтенные при последующей реконструкции:

- недостаточная жесткость ограждающих панелей котла, приводящая к повышению их вибраций;
- недостаточная жесткость крепления некоторых паротводящих труб;
- необходимость дополнительной защиты изнашивающихся участков труб Вентури.
- недостаточный полный напор, развиваемый нагнетателем для достижения проектного значения гидравлического сопротивления труб Вентури.

## ВЫВОДЫ

При реконструкции газоотводящих трактов конвертеров ОАО «НТМК», проведенной УкрГНТЦ «Энергосталь» в объеме разработки, комплексной поставки оборудования, работ по авторскому надзору и шефмонтажу, а так-

же по пусконаладочным работам, пропускная способность газоотводящих трактов увеличена на 10 %.

Газоотводящие тракты конвертеров №№ 1, 2, 3 ОАО «НТМК» после реконструкции и при модернизированном нагнетателе с интенсивностью 500 нм<sup>3</sup>/мин обеспечивают отвод, охлаждение и очистку отходящих газов до конечной запыленности менее 80 мг/м<sup>3</sup>.

Для достижения конечной запыленности менее 80 мг/м<sup>3</sup>, учитывая опыт проведения наладочных работ и испытаний, рекомендуется такой оптимальный режим (при интенсивности продувки кислородом 500 нм<sup>3</sup>/мин):

- расход газов перед нагнетателем – 340–350 тыс. м<sup>3</sup>/час;
- расход воды на скруббер – 200 м<sup>3</sup>/час, расход воды на трубы Вентури – 300 м<sup>3</sup>/час;
- гидравлическое сопротивление труб Вентури – 14,5–14,7 кПа.

Реконструкция, аналогичная проведенной УкрГНТЦ «Энергосталь» на ОАО «НТМК», может быть выполнена для газоотводящих трактов конвертеров ОАО «ЧМК», ОАО «ЗСМК», ОАО «ММК им. Ильича».

Розглянуто два варіанти реконструкції газовідвідних трактів існуючих конвертерних цехів, наведено позитивні та негативні сторони обох варіантів. Реконструкцію газовідвідних трактів зі збільшенням інтенсивності кисневої продувки та режимом роботи з повним опалюванням оксиду вуглецю описано на прикладі реконструкції на ВАТ «НТМК». Наведено основні показники роботи реконструйованих газовідвідних трактів, у т.ч., показано ефективність очистки димових газів від пилу.

При реконструкции газоотводящих трактов конвертеров экономически целесообразно переводить их на режим работы «без дожигания» оксида углерода с последующей утилизацией конвертерного газа, однако, в этом случае, кроме реконструкции оборудования газоотводящих трактов, необходима реконструкция цеха оборотного водоснабжения и выделение значительных площадей для оборудования по сбору конвертерного газа.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пирогов А.Ю. Эффективное решение вопросов экологии и энергосбережения при реконструкции газоотводящих трактов конвертеров ОАО НТМК / А.Ю. Пирогов, В.Д. Мантула, А.З. Рыжавский, А.И. Кривонос, Г.М. Каненко // Экология и промышленность. – 2008. – № 1. – С. 33–35.
2. Сборник методик по определению концентраций загрязняющих веществ, в промышленных выбросах.– Ленинград: Госкомгидромет СССР, Гидрометеиздат, 1987.

*Поступила в редакцию 15.04.2009*

Two variants of reconstructing gas-outlet ducts in the existing converter shops are considered, positive and negative aspects of both variants are resulted. Reconstruction of gas-outlet ducts with increase in intensity of oxygen blow and operating regime with full reburning of carbon oxide is resulted by the example of reconstructing gas-outlet ducts of converters at JSC «NTMK». Basic performances of the reconstructed gas-outlet ducts are shown, including purification efficiency of smoke gases against dust.