

**УДК 669.184.15**

В.Д. МАНТУЛА, заместитель генерального директора, **Г.М. КАНЕНКО**, к.т.н., ведущий научный сотрудник, **Е.А. МИЛЛЕР**, младший научный сотрудник, **Д.В. СЕМЕНОВ**, научный сотрудник

Украинский государственный научно-технический центр «Энергосталь» (УкрГНТЦ «Энергосталь»), г. Харьков

АНАЛИЗ РАБОТЫ МОКРЫХ ГАЗООЧИСТОК С НОВЫМИ КОНСТРУКЦИЯМИ ТРУБ ВЕНТУРИ

В статье представлены результаты испытаний газоочисток конвертеров с новыми конструкциями прямоугольных регулируемых труб Вентури, которые могут быть рекомендованы для дальнейшего внедрения в газоотводящих трактах конвертеров, работающих в режимах с полным дожиганием и без дожигания оксида углерода.

конвертер, газоочистка, труба Вентури, гидравлика, конечная запыленность

Реконструкция газоотводящих трактов конвертеров с повышением интенсивности продувки кислородом, увеличением расходов газа и необходимостью снижения конечной запыленности как одно из важнейших условий предусматривает выбор конструкции аппаратов мокрой газоочистки и оптимизацию параметров их работы. При этом необходимо учитывать, что реконструкция газоочисток конвертеров проводится в стесненных условиях действующего конвертерного цеха и лимитируется возможностями оборотного цикла водоснабжения. При переводе работы газоотводящих трактов на режим без дожигания оксида углерода для установленных нагнетателей необходимо расширение диапазона регулирования расхода газа и установка новых нагнетателей для увеличения развиваемого ими напора в связи с необходимостью увеличения гидравлического сопротивления труб Вентури с целью снижения конечной запыленности газов от 100 мг/нм³ до 50 мг/нм³.

Наиболее распространена система газоочисток конвертеров, состоящая из двух основных аппаратов очистки: I ступень – скруббер (газоход), обеспечивающий охлаждение газа и улавливание крупных фракций пыли, II ступень – высоконапорная регулируемая труба Вентури для улавливания высокодисперсной пыли, снижения конечной запыленности газа до требуемых норм и регулирования расхода газов.

Для эффективной очистки газа, улавливания высокодисперсной конвертерной пыли в УкрГНТЦ «Энергосталь» разработаны новые конструкции прямоугольных регулируемых труб Вентури с закругленными створками, в которых обеспечивается наименьшая турбулизация газового потока в горловине [1] и, соответственно, наименьшее гидравлическое сопротивление труб Вентури. Для эффективной работы труб Вентури очень важно обеспе-

чить полное перекрытие сечения горловины струями распыленной жидкости и увеличить восстановление давления газового потока в диффузоре, что приведет к увеличению скорости газа в горловине при располагаемом гидравлическом сопротивлении. Для полного перекрытия сечения горловины труб Вентури орошающей жидкостью найдено оптимальное положение разработанных в УкрГНТЦ «Энергосталь» центробежных форсунок с полным факелом, обеспечивающих более равномерное распределение капель по сечению горловины по сравнению с эвольвентными форсунками, имеющими факел в виде полого конуса.

Реконструкция газоотводящих трактов конвертеров с установкой новых конструкций прямоугольных регулируемых труб Вентури с закругленными створками выполнена на конвертерах:

- №№ 1, 2 ОАО «МК «Азовсталь» (1998–1999 гг.);
- №№ 2, 3, 4, 5 ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог» (ОАО «АМКР») (2003–2007 гг.);
- №№ 1, 2, 3 ОАО «Нижнетагильский металлургический комбинат» (ОАО «НТМК») (2007–2009 гг.).

Показатели работы новых газоочисток целесообразно сопоставить с данными по работе газоочисток с регулируемыми трубами Вентури с прямыми створками на газоочистках ККЦ-2 ОАО «Новолипецкий металлургический комбинат» (ОАО «НЛМК»), которые имели наиболее высокие показатели эффективности по очистке газов.

За конвертерами №№ 1, 2 ОАО «МК «Азовсталь» (за первой ступенью очистки) установлены две прямоугольные трубы Вентури сечением горловины 0,4×2,0 м, высотой 4,15 м [2]. На газоочистках конвертеров ОАО «АМКР» и ОАО «НТМК» за скрубберами установлены две прямоугольные трубы Вентури сечением горловины 0,4×2,0 м, высотой 4,7 м [3]. При пусконаладочных работах и испы-

таниях газоочисток конвертеров на ОАО «НТМК» было проведено совершенствование новой конструкции труб Вентури, связанное с уплотнением горловины, что привело к повышению эффективности очистки газа.

На ОАО «НЛМК» установлена одна прямоугольная регулируемая труба Вентури с прямыми регулируемыми створками сечением горловины $0,4 \times 3,1 \text{ м}^2$, высотой 12,6 м [4]. При реконструкции газоочисток, расположенных в цехе непосредственно за ОКГ, ввиду ограничения габарита, необходима установка труб Вентури существенно меньшей высоты (4–5,5 м).

Результаты испытаний газоочисток конвертеров при работе на оптимальных режимах приведены в табл. 1.

Для газоочисток ККЦ-2 ОАО «НЛМК» представлены данные по режиму полного и частичного дожигания оксида углерода. По данным табл. 1, удельные расходы воды на газоочистки существенно различаются. Увеличенные расходы воды на газоочистках ОАО «НЛМК» и ОАО «МК «Азовсталь» объясняются не только высокими начальными температурами газа, но и техническими возможностями – наличием на этих предприятиях новых оборотных циклов водоснабжения. При режимах с полным дожиганием оксида углерода наименьшие значения по конечной запыленности газов получены на новой конструкции прямоугольной трубы Вентури с закругленными створками газоочисток конвертеров ОАО «НТМК». В режимах частичного дожигания оксида углерода конечная запыленность газа имеет меньшие значения по сравнению с режимом полного дожигания оксида углерода, что объясняется лучшей гидрофильностью пыли, имеющей больший размер частиц. Кроме того, на трубах Вентури газоочисток ККЦ-2 ОАО «НЛМК» низкие значения конечной запыленности

газа получены при использовании трубы Вентури с высотой диффузора до 7,35 м.

При переводе газоочисток конвертеров на режим работы с частичным дожиганием или без дожигания оксида углерода очень важно обеспечить регулируемый отвод газа от конвертера и эффективную очистку газа во все периоды плавки. Актуальность применения схем отвода газов в режиме без дожигания СО обусловлена возможностью увеличения производства стали за счет повышения интенсивности продувки и использования конвертерного газа в энергетическом хозяйстве предприятия.

Регулируемый отвод газа осуществляется при помощи изменения положения регулирующих створок в горловине трубы Вентури. Зависимости гидравлического сопротивления труб Вентури газоочисток конвертеров от расхода газа при регулировании площади сечения горловины трубы Вентури представлены на рис. 1.

Для газоочисток ККЦ ОАО «НТМК» представлена регулировочная характеристика новых труб Вентури (кривая 1) как на холодном воздухе с температурой $22 \text{ }^\circ\text{C}$, так и на газе с температурой $55 \text{ }^\circ\text{C}$. Характеристика новых труб Вентури с закругленными створками имеет устойчивый диапазон регулирования по расходу газа от 375 тыс. $\text{м}^3/\text{час}$ до 140 тыс. $\text{м}^3/\text{час}$ (1:2,7) при падении гидравлического сопротивления ΔP от 18,8 до 15,6 кПа (17 %), который обеспечивается нагнетателем 7500-11-3 с модернизированным ротором. Регулировочная характеристика трубы Вентури с прямыми створками ОАО «НЛМК» (кривая 3) имеет более резко падающий характер, и при изменении расхода газа от 300 тыс. $\text{м}^3/\text{час}$ до 120 тыс. $\text{м}^3/\text{час}$ (1:2,5) падение гидравлического сопротивления составляет от 16,6 кПа

Таблица 1 – Параметры работы газоочисток

Наименование параметров	Единицы измерения	ОАО «МК «Азовсталь»	ОАО «АМКР»	ОАО «НТМК»	ОАО «НЛМК»	ОАО «НЛМК»
Садка конвертера	т	400	160	160	300	300
Режим работы по дожиганию СО	–	с частичным дожиганием	с полным дожиганием	с полным дожиганием	с полным дожиганием	с частичным дожиганием
Интенсивность продувки кислородом	$\text{нм}^3/\text{мин}$	1200–1300	380–400	450–500	500	920–970
Расход газа перед нагнетателем	тыс. $\text{м}^3/\text{час}$	400	300–320	330–350	295	210–240
Температура газа перед газоочисткой	$^\circ\text{C}$	900–950	750	400–500	960	930–900
перед нагнетателем	$^\circ\text{C}$	55–60	56	50–55	57	54–58
Расход воды на газоочистку	$\text{м}^3/\text{час}$	1500	550	500	1500	1280–1330
на трубы Вентури	$\text{м}^3/\text{час}$	400	300	300–330	300	150–240
Удельный расход воды на трубы Вентури	$\text{л}/\text{м}^3$	1,0	0,94–1,0	0,91–1,0	1,02	0,71–1,0
Гидравлическое сопротивление труб Вентури	кПа	16,0–17,0	13,5	13,7–14,5	11,0–12,0	12,5–13,8
Конечная запыленность	$\text{мг}/\text{нм}^3$	75	90–100	60–70	80–90	50–80

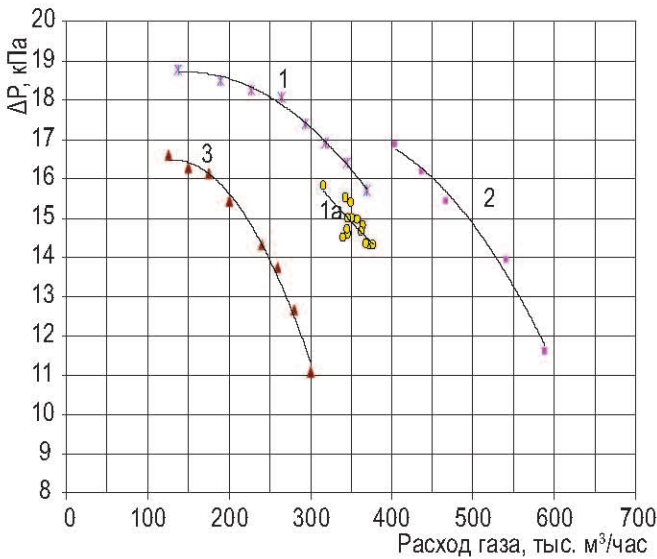


Рисунок 1 – Зависимость гидравлического сопротивления трубы Вентури от расхода газа:

1 – конвертер ОАО «НТМК», воздух $\gamma=0,94$ мг/м³, $Q_v=330$ м³/час;
 1а – конвертер ОАО «НТМК», газ $\gamma=0,93$ мг/м³, $Q_v=330$ м³/час;
 2 – конвертер ОАО «МК «Азовсталь», воздух $\gamma=0,95$ мг/м³,
 $Q_v=425$ м³/час; 3 – конвертер ОАО «НЛМК», воздух $\gamma=0,97$ мг/м³,
 $Q_v=185$ м³/час.

до 11 кПа (34 %), что при регулировании расхода газа в указанном диапазоне не обеспечит требуемой эффективности очистки во все периоды плавки. Результаты проведенных испытаний по определению регулировочной характеристики новой трубы Вентури показали, что она обеспечивает равномерное регулирование во всем диапазоне изменения расхода газа, что дает возможность рекомендовать ее для проектирования газоотводящих трактов конвертеров, работающих в режиме без дожигания оксида углерода.

Для расчета конструкции новой трубы Вентури рекомендуется использовать зависимость общего коэффициента гидравлического сопротивления $\zeta_{общ}$ от степени раскрытия горловины $\phi = F_p / F_n$, где F_p – рабочая площадь сечения горловины, м²; F_n – площадь сечения горловины при полном раскрытии, м² (рис. 2).

Общий коэффициент гидравлического сопротивления $\zeta_{общ}$ определяется зависимостью

$$\zeta_{общ} = \frac{\Delta P \cdot 2}{W_r^2 \cdot \gamma_r}, \quad (1)$$

где ΔP – гидравлическое сопротивление трубы Вентури, Па;

γ_r – плотность газа, кг/м³;

W_r – скорость газа в горловине, м/с.

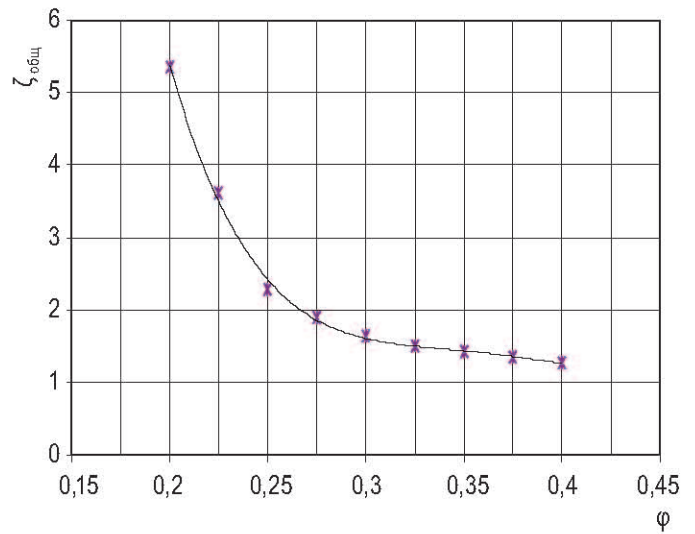


Рисунок 2 – Зависимость общего коэффициента гидравлического сопротивления $\zeta_{общ}$ трубы Вентури от раскрытия горловины ϕ (конвертер ОАО «НТМК»: воздух – $\gamma=0,94$ мг/м³, $Q_v=330$ м³/час)

ВЫВОДЫ

В результате проведенных промышленных испытаний газочисток конвертеров установлено, что:

- новые конструкции прямоугольных регулируемых труб Вентури, разработанные в УкрГНТЦ «Энергосталь», в режимах с полным дожиганием оксида углерода обеспечивают лучшие в отрасли значения конечной запыленности газа (60–70 мг/нм³) при гидравлическом сопротивлении 13,7–14,5 кПа и удельном орошении 0,91–1,0 л/м³ (ОАО «НТМК»), а также и оптимальные регулировочные характеристики во всем диапазоне изменения расхода газа;
- конструкция прямоугольных регулируемых труб Вентури на конвертерах ОАО «МК «Азовсталь», обеспечивающих в режимах с частичным дожиганием оксида углерода значения конечной запыленности 75 мг/нм³ при гидравлическом сопротивлении 16,0 кПа и удельном расходе воды 1,0 л/м³, требует усовершенствования для снижения конечной запыленности газа до 50 мг/нм³.

Дальнейшее снижение значений конечной запыленности газа до 50 мг/нм³ возможно при увеличении гидравлического сопротивления труб Вентури более 14 кПа, что требует увеличения развиваемого напора и мощности установленных нагнетателей на газоотводящих трактах конвертеров, работающих в режиме полного дожигания оксида углерода.

Новые конструкции труб Вентури, работающие с оптимальными режимными параметрами как по очистке, так и по регулированию рекомендуются для проектирования

при реконструкции газоотводящих трактов конвертеров, работающих в режиме с полным дожиганием оксида углерода, а также при переходе на режимы без дожигания оксида углерода при регулируемом отводе газов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Каненко, Г.М.** Очистка конвертерных газов без дожигания СО / Г.М. Каненко // Сталь. – 2005. – № 12. – С. 82–83.
2. **Каненко, Г.М.** Внедрение новой конструкции регулируемых труб Вентури в ККЦ меткомбината «Азовсталь» / Г.М. Каненко, В.Д. Мантула, Д.И. Чиненов // Экология и здоровье человека. Охрана водного и воздушного бассейнов. Утилизация отходов: труды конф. – X. : 1999. – С. 174–175.
3. **Мантула, В.Д.** Эффективное решение проблем очистки газов от пыли в комплексе реконструкции газоотводящих трактов кислородно-конвертерного цеха ОАО «НТМК» / В.Д. Мантула, Г.М. Каненко, В.В. Алхасова // Экология и здоровье человека. Охрана водного и воздушного бассейнов. Утилизация отходов: сборник научных статей XVI Междунар. науч.-практ. конф., 2–6 июня 2008 г., г. Щелкино, АР Крым / УкрГНТЦ «Энергосталь». – X. : Сага, 2008. – Т. 1. – С. 290–295.
4. **Велецкий, Р.К.** Опыт эксплуатации системы очистки газов кислородных конвертеров / Р.К. Велецкий, Р.Ф. Грач, Е.Н. Косцов, М.М. Черепинский, Г.М. Каненко и др. // Обзорная информация института «Черметинформация». Сер. 22. – 1975. – № 9. – С. 1–13.

Поступила в редакцию 15.04.2010

У статті надано результати випробувань газоочисток конвертерів з новими конструкціями прямокутних регульованих труб Вентурі, які можуть бути рекомендовані для подальшого впровадження в газовідвідних трактах конвертерів, що працюють у режимах з повним допалюванням і без допалювання оксиду вуглецю.

The article presents the results of tests of gas purifications of converters with new designs of rectangular adjustable Venturi tubes, which can be recommended for further implementation in gas-outlet ducts of converters operating both modes with full afterburning and without afterburning of carbon monoxide.