

**УДК 669.184.15****В.Д. МАНТУЛА**, заместитель генерального директора,**Г.М. КАНЕНКО**, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, **Д.В. СЕМЕНОВ**, и.о. заведующего лабораторией Украинский государственный научно-технический центр «Энергосталь» (УкрГНТЦ «Энергосталь»), г. Харьков**ОПЫТ УКРГНТЦ «ЭНЕРГОСТАЛЬ» ПО РАЗРАБОТКЕ И ВНЕДРЕНИЮ  
МОКРЫХ СИСТЕМ ОЧИСТКИ КОНВЕРТЕРНЫХ ГАЗОВ**

Представлены результаты анализа работы газоотводящих трактов конвертеров, обобщен опыт проектирования и внедрения мокрых газоочисток с применением аппаратов различных конструкций. Даны технические предложения по оптимальной схеме газоочистки для достижения конечной запыленности не более 50 мг/нм<sup>3</sup>.

**Ключевые слова:** конвертер, мокрые системы очистки, параметры работы, конечная запыленность.

УкрГНТЦ «Энергосталь» более 40 лет занимается разработкой и освоением мокрых систем очистки газов конвертеров на предприятиях стран СНГ и дальнего зарубежья. В последние 10 лет работы выполняются комплексно, включая разработку, проектирование, поставку оборудования «под ключ», пусконаладочные работы с обеспечением требуемых показателей очистки газов.

В действующих конвертерных цехах наращивание объемов выплавки стали достигается путем увеличения интенсивности продувки кислородом, что предполагает модернизацию существующих газоотводящих трактов для повышения эффективности работы систем очистки газов. При увеличении количества отходящих газов, недостаточном расходе оборотной воды на систему орошения газоочистки и низком ее качестве на многих предприятиях конечная запыленность газов превышает 100 мг/нм<sup>3</sup>. Технические решения, заложенные в действующие системы мокрой очистки газов конвертеров, обеспечивающие достижение конечной запыленности 100 мг/нм<sup>3</sup>, соответствуют экологическим требованиям 70–90-х годов прошлого века и не позволяют обеспечить существенное повышение эффективности очистки газа.

Проектирование и реконструкция систем очистки газов конвертеров должны соответствовать современным требованиям природоохранного законодательства, одним из обязательных условий которого является обеспечение конечной запыленности газов не более 50 мг/нм<sup>3</sup>.

На предприятиях черной металлургии Украины работают семь конвертерных цехов – в т.ч. один цех с тремя конвертерами садкой 60 т, три цеха с двенадцатью конвертерами садкой 160 т, один цех с двумя конвертерами садкой 250 т, один цех с двумя конвертерами садкой 300 т, один цех с двумя конвертерами садкой 400 т –

в 21 конвертере выплавляется стали до 40 млн т/год. Газоотводящие тракты конвертеров садкой 300 т ОАО «Днепропетровский меткомбинат им. Дзержинского» (ОАО «ДМКД») и садкой 400 т ОАО «МК «Азовсталь» работают в режиме с частичным дожиганием оксида углерода (СО), остальные конвертеры работают в режиме с полным дожиганием.

На предприятиях черной металлургии России работают 8 конвертерных цехов, из них садкой 160 т – 4 цеха (13 конвертеров), садкой 300 т – 2 цеха (4 конвертера), садкой 400 т – 2 цеха (6 конвертеров). Всего 23 конвертера. Газоотводящие тракты 160 т конвертеров работают в режиме с полным дожиганием СО, 300 т конвертеров – в режиме без дожигания СО, 400 т конвертеров – в режиме с частичным дожиганием СО.

Газоотводящие тракты конвертеров работают в режиме отвода газов с полным, частичным дожиганием и без дожигания СО, что оказывает существенное влияние на режимные параметры работы мокрых газоочисток. Охладители конвертерных газов (ОКГ) в зависимости от поверхностей нагрева и места установки ширм обеспечивают охлаждение газов перед газоочистками до температуры 400–1000 °С, что также сказывается на параметрах работы газоочисток. При работе в режиме полного дожигания в газах перед газоочисткой СО не содержится; в режиме без дожигания и с частичным дожиганием СО сжигается после газоочистки на свече.

Запыленность конвертерных газов зависит от интенсивности продувки кислородом, а также от количества и режимов подачи, качества извести и других сыпучих, поступающих в конвертер. Вынос мелкой фракции флюсовых добавок можно сократить, применяя хорошо обожженную кусковую известь [1]. При движении отходящих

газов в трактах конвертеров происходит процесс коагуляции мелкодисперсных фракций пыли, что способствует ее осаждению из газовой фазы. Как показывают исследования [2], конвертерная пыль обладает хорошими гидрофильными свойствами – относительная смачиваемость изменяется в течение кислородной продувки в системах без дожигания СО в диапазоне 59–65 %, с частичным дожиганием – 60–72 %, с полным дожиганием – 68–75 %.

Технологическая схема газоочистки конвертеров включает следующие аппараты и оборудование [3]:

- первая ступень охлаждения газов до заданных температур и предочистки от крупной пыли;
- вторая ступень очистки от высокодисперсной пыли до требуемых значений конечной запыленности и доохлаждения газов;
- каплеуловитель;
- нагнетатель;
- дымовая труба либо свеча для дожигания СО.

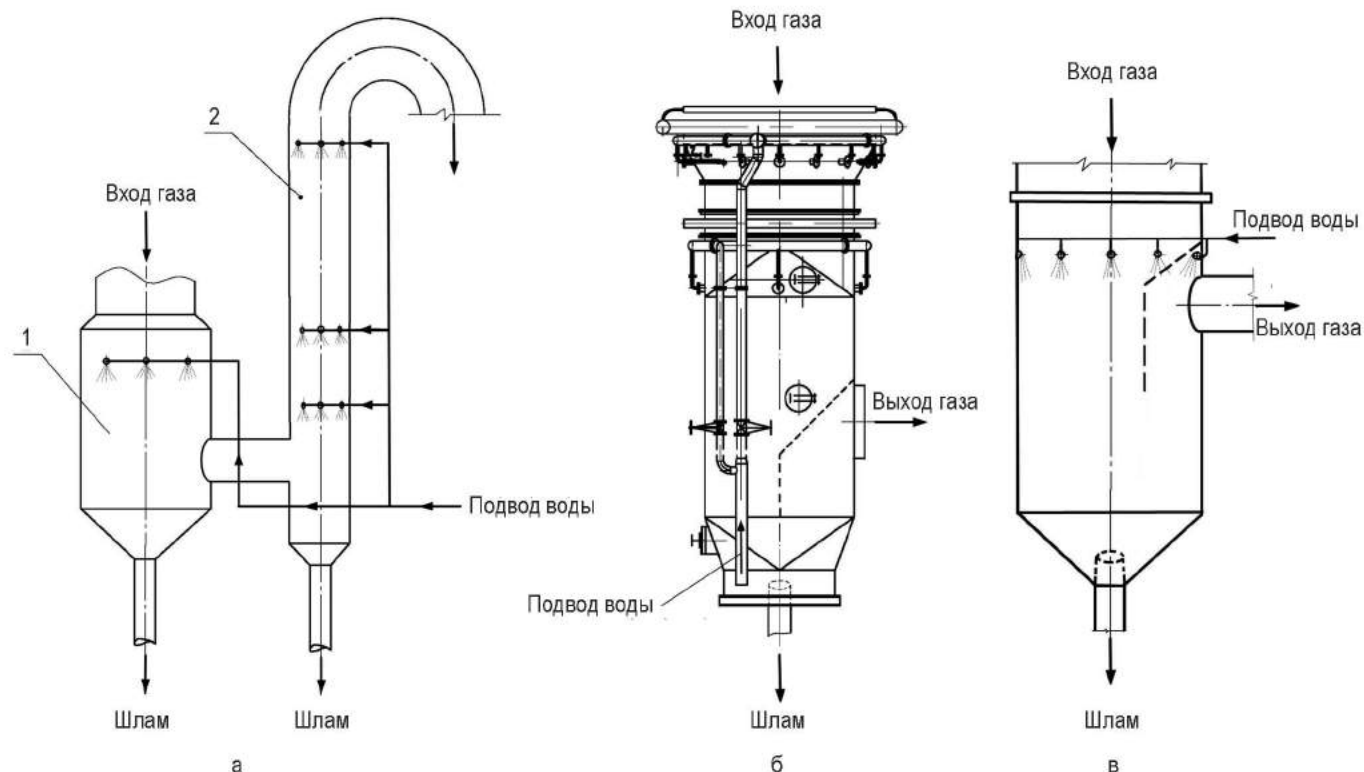
Конструкции аппаратов первой ступени охлаждения и очистки газов зависят от их расположения за ОКГ, наличия габаритов для их размещения, начальной температуры газов и расхода воды. Габариты аппаратов первой ступени рассчитываются для условий необходимого охлаждения газов. В первой ступени улавливается крупная (более 5 мкм) пыль – 70–90 % от общего количества пыли, выносимой из конвертера. В качестве первой ступени

устанавливаются узлы предварительного охлаждения (УПО), трубы Вентури, скрубберы, орошаемые газоходы (рис. 1). В последние годы отказались от применения труб Вентури, имеющих повышенное гидравлическое сопротивление, в качестве первой ступени охлаждения и предочистки газов. При проектировании аппаратов для охлаждения газов применяются системы орошения двух- и трехдюймовыми эвольвентными форсунками, расположенными на нескольких ярусах. При установке ярусов форсунок факелы орошения могут быть направлены против движения газового потока (режим противотока) и попутно движению газового потока (режим прямотока). С увеличением скорости газа в скруббере более 3 м/с интенсифицируется процесс теплообмена, но увеличивается вынос капель.

В качестве второй ступени очистки газов конвертеров устанавливаются высоконапорные трубы Вентури различных конструкций [3, 4]:

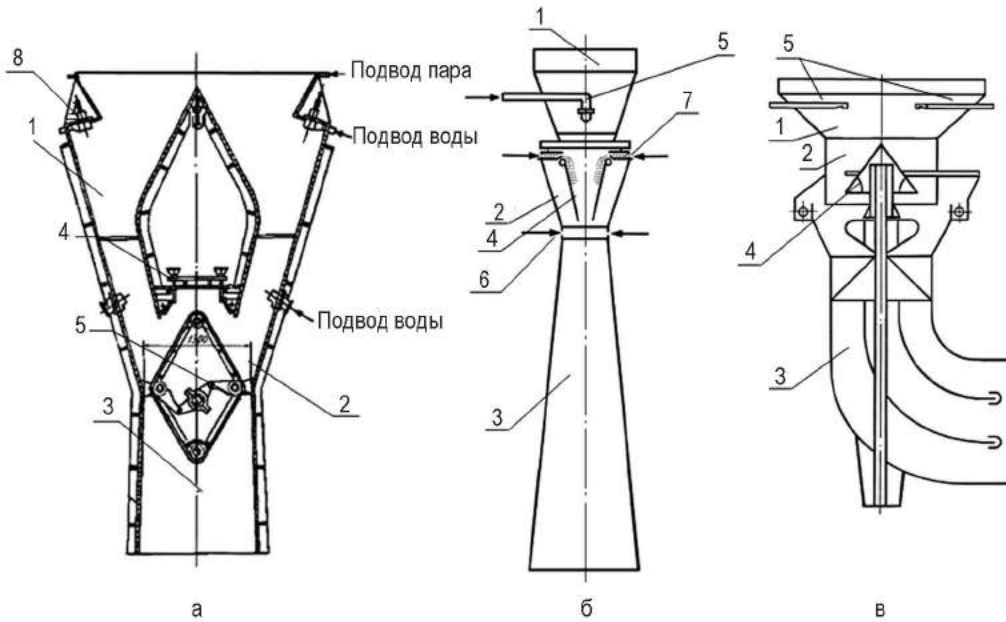
- кольцевые с регулирующим конусом;
- прямоугольные регулируемые с прямыми и закругленными створками или пантографом;
- прямоугольные нерегулируемые;
- блоки круглых нерегулируемых труб Вентури.

Блоки круглых труб Вентури со средним диаметром горловины 0,25–0,4 м не обеспечивают эффективную очистку и подлежат замене.



**Рисунок 1 – Аппараты первой ступени очистки и охлаждения газа:**

а – первая ступень в ККЦ-1 ОАО «Западно-Сибирский меткомбинат» (1 – УПО, 2 – орошаемый газоход);  
 б – скруббер ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог»; в – скруббер ОАО «Нижнетагильский меткомбинат»



**Рисунок 2 – Аппараты второй ступени очистки газов:**

1 – конфузор, 2 – горловина, 3 – диффузор, 4 – регулирующий орган, 5 – система форсуночного орошения, 6 – периферийное орошение, 7 – пленочное орошение, 8 – парозежекционный узел

В качестве регулирующего органа в прямоугольных трубах Вентури применяются створки различной конфигурации либо более сложный регулирующий орган – пантограф (рис. 2). Регулирование положения створок или пантографа производится при помощи электрических (МЭО) или гидравлических исполнительных механизмов.

После высоконапорных труб Вентури устанавливаются бункеры для первичного улавливания шламовых вод, каплеуловители с завихрителями либо центробежные с тангенциальным входом газа.

УкрГНТЦ «Энергосталь» разработаны конструкции каплеуловителя с одно- и двухсекционным лопастным завихрителем. При скорости газа в сечении каплеуловителя до 8,5 м/с габариты аппарата уменьшаются по сравнению с каплеуловителями с тангенциальным входом газа, повышается эффективность улавливания капельной влаги. Для повышения эксплуатационной надежности нагнетателей разработаны конструкции ловушек влаги и эффективная система смыва отложений пыли с роторов.

Конструкции газоочисток с прямоугольными и круглыми регулируемыми трубами Вентури с кольцевым зазором, которые внедрены на 26 газоотводящих трактах конвертеров в Украине и России [3–8], также разработаны в УкрГНТЦ «Энергосталь». Режимные параметры работы мокрых газоочисток конвертеров садкой 160 т ряда предприятий Украины и России, полученные в результате пусконаладочных работ и испытаний, приведены в табл. 1.

Из данных (табл. 1) следует, что газоочистки конвертеров ПАО «Евраз – Днепропетровский металлургический завод им. Петровского» (ПАО «Евраз – ДМЗ им. Петровского»), ПАО «Мариупольский меткомбинат им. Ильича» (ПАО «ММК им. Ильича»), ОАО «Челябинский металлургический комбинат» (ОАО «ЧМК») с блоками круглых нерегулируемых труб Вентури имеют наихудшие показатели по очистке от пыли [4].

Данные о работе ряда газоочисток конвертеров садкой 300–400 т, работающих в режиме с частичным дожиганием и без дожигания оксида углерода, представлены в табл. 2. На всех газоотводящих трактах конвертеров, кроме конвертеров ККЦ-2 ОАО «Новолипецкий меткомбинат» (ОАО «НЛМК») и ОАО «Западно-Сибирский меткомбинат» (ОАО «ЗСМК»), установлены нагнетатели с двигателями мощностью 5000 кВт, развивающие напор до 20–29 кПа. На всех газоочистках конвертеров конечная запыленность составляет менее 100 мг/м<sup>3</sup> и имеются резервы повышения эффективности очистки газа.

В 1998–1999 гг. на газоочистках конвертеров № 1 и № 2 ОАО «МК «Азовсталь» проведена реконструкция с заменой кольцевой трубы Вентури второй ступени на две прямоугольные регулируемые трубы Вентури с закругленными створками сечением горловины 0,4×2,0 м. При гидравлическом сопротивлении труб Вентури 16,5–17 кПа и удельном расходе воды 1 л/м<sup>3</sup> получена конечная запыленность газов 75 мг/м<sup>3</sup> [5].

На конвертерах ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог» (ОАО «АМКР») в 2004–2008 гг. по проекту УкрГНТЦ «Энергосталь» проведена реконструкция газоочисток за конвер-

Таблица 1 – Параметры работы газоочисток конвертеров садкой 160 т

Наименование параметров	Единица измер.	АМКР	ЕМЗ	Ильича	Петровского	НТМК	ЗСМК	ЧМК	НЛМК
		Конвертер № 5	Конвертер № 2	Конвертер № 2	Конвертеры № 1, № 2	Конвертер № 2	ККЦ-1	Конвертеры №№ 1–3	ККЦ-1
Интенсивность продувки кислородом	м³/мин	380–400	430–360–430	400	150–200	450	400	450	500
Расход отходящих газов перед нагнетателем	тыс. м³/ч	315	305	315	180	340	290–300	320	160
Температура газов до газоочистки	°С	до 800	800	420	1100	500	620	650	400
Температура газов после газоочистки	°С	60	65–68	56	65–69	55	56	65	56
Гидравлическое сопротивление скруббера	кПа	0,5–0,7	0,85	0,9	0,9	0,7	0,7	–	0,4
Гидравлическое сопротивление труб Вентури	кПа	13,5	10,5	11,1	9,1	13,6–14,6	12,5	12	15,0–15,5
Гидравлическое сопротивление каплеуловителей	кПа	1,0	1,1–1,4	1,4	0,3	0,65	0,7	0,6	1,0
Полный напор нагнетателя	кПа	17,0	16,0	15,7	12,0	17,5	16,0	15,0	18,5
Расход оборотной воды	м³/ч	580	310–320	350	500	500	720	–	250–270
Расход воды на трубы Вентури	м³/ч	300	120	240	90	330	300	330	160
Конечная запыленность	мг/м³	75–90	до 120	100–120	до 200	55–80	до 100	до 180	до 70

Таблица 2 – Параметры работы газоочисток конвертеров садкой 300–400 т

Наименование параметров	Единица измер.	ДМК	ЗСМК	НЛМК	Азовсталь	Северсталь	ММК
		Комбинированная продувка	ККЦ-2	ККЦ-2, конвертеры № 2, № 3	Конвертер № 2	Конвертер № 3	Конвертер № 3
Интенсивность продувки кислородом	м³/мин	500–800 150	1000	1050	1250	1250	1100–1200
Расход отходящих газов перед нагнетателем	тыс. м³/ч	310	243	240	400	400	360
Температура газов до газоочистки	°С	600–680	900	840	950	900	620
Температура газов после газоочистки	°С	50–54	58	60	56	55–60	52–55
Гидравлическое сопротивление скруббера (1-й ступени трубы Вентури)	кПа	2,9	1,2	0,8	0,6	0,5	0,4
Гидравлическое сопротивление труб Вентури	кПа	16,0–17,0	12,3–13,0	12,7–13,5	16,5–17,0	17,0	18,5
Гидравлическое сопротивление каплеуловителей	кПа	1,0	0,8	0,8	1,2	0,8	1,4
Полный напор нагнетателя	кПа	22,5	15,6	15,5	20,0	19,5	29,0
Расход оборотной воды	м³/ч	1025	1200	1290	1400–1500	1570	960–1100
Расход воды на трубы Вентури	м³/ч	400	220	150	400	470	280
Конечная запыленность	мг/м³	60–70	85–90	65–75	75	70	менее 50

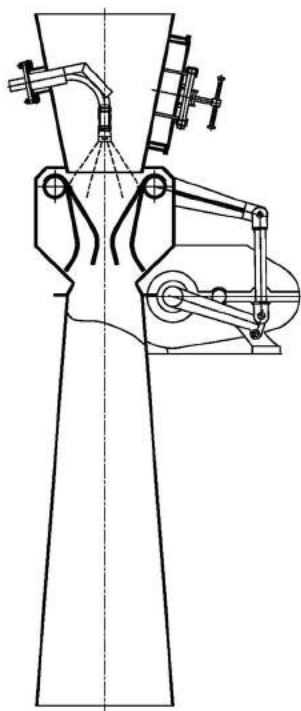
терами №№ 2–6 с установкой скрубберов и двух прямоугольных регулируемых труб Вентури с закругленными створками. По проекту ОАО «Укрэнергочермет» была проведена модернизация ротора нагнетателя 650011-1 с установкой электродвигателя мощностью 2400 кВт, что обеспечило повышение развиваемого напора до 17 кПа. При

гидравлическом сопротивлении труб Вентури 13,5 кПа и удельном расходе воды до 1 л/м³ получена конечная запыленность газов 75–90 мг/м³ [6].

В 2009–2010 гг. были внедрены технические решения по обеспечению устойчивой работы системы очистки газов конвертеров № 1 и № 2 ПАО «Енакиевский металлур-



гический завод» (ПАО «ЕМЗ») со снижением конечной запыленности газов от 200 до 120 мг/нм<sup>3</sup>. Малозатратная модернизация газоочистки заключалась в увеличении расхода воды от 80 до 120 м<sup>3</sup>/час и уменьшении площади сечения горловины нерегулируемой трубы Вентури от 0,9 до 0,72 м<sup>2</sup>, сокращении расхода воды на скруббер; совершенствовании двух каплеуловителей и ловушки пленочной влаги перед нагнетателем с целью сокращения выноса капельной влаги [7]. На конвертерах № 1–4 ОАО «Нижнетагильский меткомбинат» (ОАО «НТМК») в 2007–2010 гг. УкрГНТЦ «Энергосталь» проведена комплексная реконструкция газоотводящих трактов – разработка, проектирование, поставка оборудования и выполнение пусконаладочных работ. В газоотводящих трактах установлены новые ОКГ, скрубберы и усовершенствованные прямоугольные регулируемые трубы Вентури (рис. 3), что обеспечило достижение впервые в отрасли конечной запыленности 55–80 мг/нм<sup>3</sup> [8].



**Рисунок 3 – Труба Вентури**

Важным фактором эффективности газоотводящих трактов конвертеров является работа нагнетателя и обеспечение необходимых параметров по расходу газов и напору. На газоотводящих трактах конвертеров садкой 160 т в основном установлены нагнетатели 7500-11-1 с электродвигателями мощностью 2500 кВт и развиваемым напором до 16 кПа; на газоотводящих трактах большегрузных конвертеров – нагнетатели 8500-11-1 и 10000-11-1 с электродвигателями мощностью 5000 кВт и развиваемым напором более 20 кПа. Модернизация роторов на-

гнетателей 7500-11-1, выпускаемых ОАО «Энергомаш» (г. Чудово) и внедренных на ОАО «НТМК», предусматривает повышение развиваемого напора до 17,5–18,0 кПа и свидетельствует о необходимости дальнейшей модернизации с повышением развиваемого напора более 19 кПа.

На основании обобщения многолетнего опыта эксплуатации мокрых газоочисток и анализа работы различных конструкций аппаратов первой и второй ступени охлаждения и очистки газов УкрГНТЦ «Энергосталь» разработаны технические решения для реконструкции газоочисток конвертеров. Технологическая схема мокрой газоочистки, обеспечивающая оптимальные режимные параметры, включает скруббер, прямоугольные регулируемые трубы Вентури с бункером, каплеуловитель с завихрителем, ловушку пленочной влаги перед нагнетателем, нагнетатель, дымовую трубу.

В качестве аппарата первой ступени охлаждения и очистки газов рекомендуется устанавливать скруббер со скоростью потока 5–6 м/с. В скруббере предусмотрены два яруса орошения с двухдюймовыми эвольвентными форсунками, которые необходимо располагать таким образом, чтобы перекрыть все сечение скруббера струями распыленной воды с минимальным попаданием ее на стенки скруббера. В качестве второй ступени – усовершенствованная прямоугольная регулируемая труба Вентури с криволинейными створками (рис. 3), которая характеризуется наиболее высокими показателями по очистке газов при гидравлическом сопротивлении до 14,6 кПа [3, 8].

Компоновочные решения при реконструкции газоочисток обусловлены стесненными условиями в действующих цехах. Возможна установка одной одноканальной или спаренной (двухканальной) прямоугольной трубы Вентури, а также двух прямоугольных. Под трубами Вентури устанавливается бункер для первичного отвода шламовых вод (скорость газов в сечении бункера – до 7 м/с), центробежные каплеуловители с одно- и двухсекционными завихрителями, обеспечивающие наименьший вынос капельной влаги. Для достижения конечной запыленности газа до 50 мг/нм<sup>3</sup> необходимо повышение гидравлического сопротивления на трубах Вентури до 15–16 кПа и увеличение полного напора, развиваемого нагнетателем, до величины не менее 19 кПа.

## ВЫВОДЫ

Описаны применяемые системы мокрых газоочисток конвертеров, работающих на территории Украины и России.

Проанализированы данные о работе ряда газоочисток конвертеров, работающих в режиме с полным, частичным дожиганием и без дожигания оксида углерода.

На основании обобщения многолетнего опыта эксплуатации мокрых газоочисток и анализа работы различных конструкций аппаратов первой и второй ступени охлаждения и очистки газов УкрГНТЦ «Энергосталь» разработаны технические решения для реконструкции газоочисток конвертеров с обеспечением современных требований природоохранного законодательства.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Бережинский, А.И.** Охлаждение и очистка газов кислородных конвертеров / А.И. Бережинский, А.Ф. Циммерман. – М. : Metallurgia, 1983. – 265 с.
2. **Чалый, Л.Г.** Исследование влияния способов отвода и охлаждения газов сталеплавильных кислородных конвертеров на состав и физико-химические свойства пыли: автореф. дис. / Л.Г. Чалый. – М. : ЦНИИЧМ им. И.П. Бардина, 1978. – 26 с.
3. **Каненко, Г.М.** Опыт работы и пути совершенствования газоочисток конвертеров / Г.М. Каненко // *Сталь*. – 2002. – № 2. – С. 85–89.
4. **Каненко, Г.М.** Пути улучшения работы газоочисток конвертеров на предприятиях Украины / Г.М. Каненко, Р.К. Велецкий // *Сталь*. – 1997. – № 4. – С. 74–76.
5. Внедрение новой конструкции регулируемых труб Вентури в ККЦ меткомбината «Азовсталь» / Г.М. Каненко,

А.Ф. Романенко, В.Д. Мантула, Д.И. Чиненов // *Экология и здоровье человека. Охрана водного и воздушного бассейнов. Утилизация отходов : труды конф.*, 7–11 июня 1999 г., г. Щелкино, АР Крым. – X. : 1999. – С. 174–175.

6. **Абсалямов, Ю.Г.** Внедрение новой конструкции газоочистки в ККЦ ОАО «Миттал Стил Кривой Рог» / Ю.Г. Абсалямов, А.Ф. Романенко, А.Н. Борисенко, В.И. Макаренко // *Казантип-ЭКО-2007. Экология и здоровье человека. Охрана водного и воздушного бассейнов. Утилизация отходов : сб. тр. XV Междунар. науч.-практ. конф.*, 4–8 июня, 2007 г., г. Щелкино, АР Крым : в 2-х т. Т. 2. / УкрГНТЦ «Энергосталь». – X. : Saga, 2007. – С. 107–110.

7. **Мантула, В.Д.** О работе модернизированной системы очистки газов конвертера № 2 ОАО «ЕМЗ» / В.Д. Мантула, Г.М. Каненко, Д.В. Семенов // *Казантип-ЭКО-2010. Экология, энерго- и ресурсосбережение, охрана окружающей среды и здоровье человека, утилизация отходов : сб. трудов XVIII Междунар. науч.-практ. конф.*, 7–11 июня 2010 г., г. Щелкино, АР Крым : в 2-х т. Т. 2. / УкрГНТЦ «Энергосталь». – X. : НТМТ, 2010. – С. 8–12.

8. **Мантула, В.Д.** Модернизация газоотводящих трактов кислородных конвертеров емкостью 160 т в условиях действующего производства / В.Д. Мантула, А.З. Рыжавский, А.Ю. Пирогов, Д.В. Семенов, Д.В. Романов // *Экология и промышленность*. – 2009. – № 4. – С. 46–50.

*Поступила в редакцию 17.03.2011*

Надано результати аналізу роботи газовідвідних трактів конвертерів, узагальнено досвід проектування та впровадження мокрых газоочисток із застосуванням апаратів різних конструкцій. Надано технічні пропозиції щодо оптимальної схеми газоочистки для досягнення кінцевої запиленості не більше 50 мг/нм<sup>3</sup>.

Converter gas-outlet ducts operability is analyzed, experience in designing and implementing wet gas purifications with using apparatus of various designs is summed up. Technical proposals for the best gas cleaning system with achieving ultimate dust content not more than 50 mg/Nm<sup>3</sup> are given.