



**УДК 66.074:621.928.9**

**Д.В. ФЕДУРУС**, научный сотрудник, **Д.В. СЕМЕНОВ**, заведующий лабораторией,

**А.В. РЕУЧЕНКО**, инженер II категории, **В.С. КУЛИК**, научный сотрудник

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

## ТРУБЫ ВЕНТУРИ В МОКРЫХ СИСТЕМАХ ГАЗООЧИСТКИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО ИХ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ

Рассмотрены газодинамические характеристики труб Вентури круглого и прямоугольного сечений. Определены влияние коэффициента гидравлического сопротивления труб Вентури на эффективность пылеулавливания и затраты энергии на очистку газа. Обобщены результаты многолетних исследований этих аппаратов и предложено техническое решение по усовершенствованию регулирующего органа в круглых трубах Вентури.

**Ключевые слова:** труба Вентури, коэффициент гидравлического сопротивления, кольцевой зазор, регулирующий орган.

Трубы Вентури относятся к турбулентным скоростным газопромывателям и являются наиболее эффективными среди устройств мокрой очистки газов от пыли. Они нашли широкое применение в теплоэнергетической, металлургической, горнодобывающей и химической отраслях промышленности.

Основными конструктивными элементами трубы Вентури являются конфузор (сужающаяся часть), горловина (прямой участок) и диффузор (расширяющаяся часть). Принцип работы этого аппарата основан на интенсивном дроблении газовым потоком, движущимся со скоростью 40–150 м/с, орошающей его жидкости [1]. Осаждению частиц пыли на каплях способствует высокая относительная скорость между газовым и водяным потоками.

По конфигурации поперечного сечения трубы Вентури подразделяются на круглые и прямоугольные (рис. 1). При переменном расходе газа или для его регулирования они могут выполняться с переменным сечением горловины. В прямоугольных трубах применяют поворотные створки, меняющие положение при помощи электромеханических или электрогидравлических приводов с маслостанцией. В круглых трубах Вентури в качестве регулирующего органа зачастую выступает передвижной конус, который приводится в движение посредством гидропривода и характеризуется высоким коэффициентом гидравлического сопротивления ( $\xi_{\text{сж}}$ ). Перемещение такого конуса требует значительных затрат энергии. Кроме того, очень сложно обеспечить равномерное перекрытие каплями жидкости кольцевого зазора между конусом и горловиной. Эти особенности круглых труб Вентури следует отнести к их существенным недостаткам.

Эффективность пылеулавливания трубы Вентури является функцией гидравлического сопротивления аппарата, при этом его конструкция и условия эксплуатации должны быть оптимальными с точки зрения аэродинамики потока и подачи орошающей жидкости [1].

Гидравлическое сопротивление трубы Вентури  $\Delta P$  определяется по формуле

$$\Delta P = \Delta P_{\text{сж}} + \Delta P_{\text{ж}}, \text{ кПа}, \tag{1}$$

где  $\Delta P_{\text{сж}}$  – гидравлическое сопротивление неорошаемого (сухого) аппарата, кПа;

$\Delta P_{\text{ж}}$  – гидравлическое сопротивление, связанное с вводом жидкости, кПа.

Гидравлическое сопротивление  $\Delta P_{\text{сж}}$  выражается зависимостью

$$\Delta P_{\text{сж}} = \xi_{\text{сж}} \rho_{\text{г}} W_{\text{г}}^2 / 2g, \text{ кПа}, \tag{2}$$

где  $\xi_{\text{сж}}$  – коэффициент гидравлического сопротивления аппарата;

$\rho_{\text{г}}$  – плотность газа, кг/м<sup>3</sup>;

$W_{\text{г}}$  – скорость газа в горловине, м/с.

Гидравлическое сопротивление  $\Delta P_{\text{ж}}$  определяется выражением

$$\Delta P_{\text{ж}} = \xi_{\text{ж}} \rho_{\text{ж}} m W_{\text{г}}^2 / 2g, \text{ кПа}, \tag{3}$$

где  $\xi_{\text{ж}}$  – коэффициент гидравлического сопротивления аппарата, учитывающий ввод в трубу Вентури орошающей жидкости;

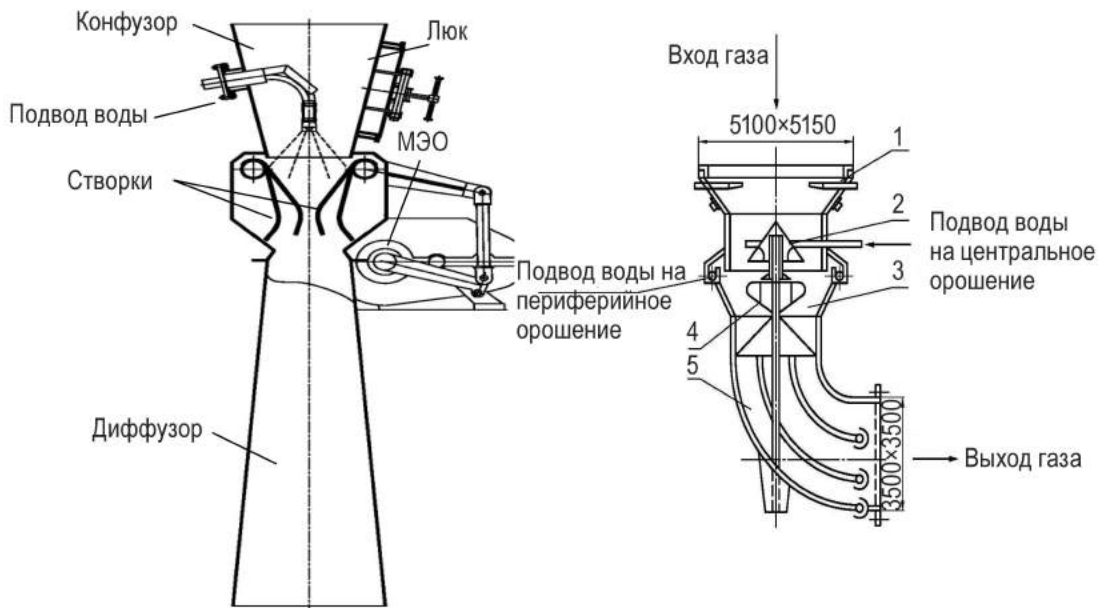


Рисунок 1 – Регулируемые прямоугольная и круглая трубы Вентури:

1 – узел предварительного впырыска; 2 – конус-рассекатель; 3 – конфузор; 4 – подвижный конус; 5 – колено-сепаратор



$\rho_{\text{ж}}$  – плотность орошающей жидкости,  $\text{кг/м}^3$ ;

$m$  – удельный расход орошающей жидкости,  $\text{дм}^3/\text{м}^3$ .

Коэффициент гидравлического сопротивления  $\xi_{\text{сух}}$  характеризует влияние конструкции аппарата, а также способа регулирования расхода газа на затраты энергии в нем.

Исследования различных моделей регулируемых труб Вентури показали, что при заданных гидравлических сопротивлениях на очистку увеличение коэффициента гидравлического сопротивления неорошаемой трубы приводит к снижению доли энергии, обусловленной вводом жидкости, и ухудшению степени очистки. Поэтому определение значений  $\xi_{\text{сух}}$  является очень важным [2].

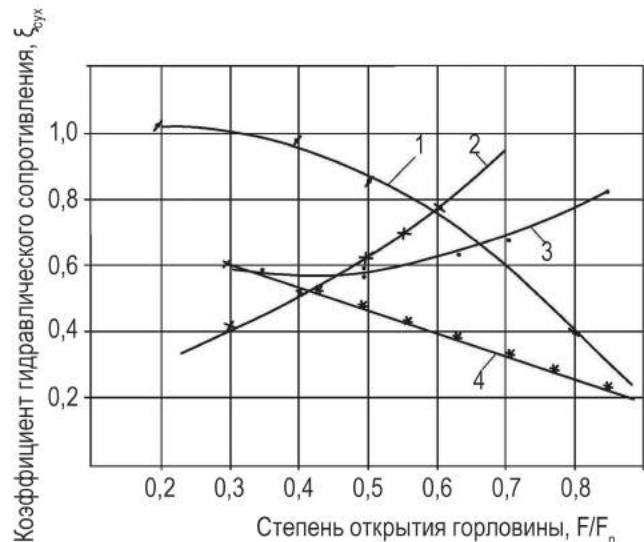
Проведенные ранее испытания позволили установить зависимость коэффициента гидравлического сопротивления от степени открытия горловины для регулируемых труб Вентури – прямоугольных и с кольцевым зазором [3]. Из этих данных, приведенных на рис. 2, следует, что с увеличением площади кольцевого зазора коэффициент гидравлического сопротивления испытанных круглых труб Вентури возрастает. Для прямоугольных труб наблюдается обратная зависимость.

Опыт эксплуатации мокрых газоочисток с регулируемыми трубами Вентури показал, что в случае применения прямоугольных труб эффективная очистка газа достигается при меньших значениях коэффициента гидравлического сопротивления, чем при использовании круглых труб с кольцевым зазором [4, 5]. Последние к тому же требуют больших усилий для поднятия конуса, что усложняет их гидравлическую систему и замедляет систему регулирования.

Существует несколько направлений совершенствования конструкции высоконапорных труб Вентури, обеспечивающих эффективную очистку газа:

- изменение конфигурации и габаритов аппарата;
- оптимизация системы орошения;
- модификация регулирующего органа.

Наиболее важное значение для уменьшения общего гидравлического сопротивления трубы Вентури имеет оптимизация ее конфигурации, т.е. уменьшение гидравлического сопротивления «сухой» трубы Вентури. Испытания показали, что у регулируемых труб Вентури коэффициент гидравлического сопротивления  $\xi_{\text{сух}}$  выше, чем у нерегулируемых. С газодинамической точки зрения оптимальными являются круглые трубы без регулирующего органа, обладающие несколько меньшим, чем у прямоугольных труб, коэффициентом  $\xi_{\text{сух}}$  [7]. Однако в современных условиях эксплуатации наибольший интерес представляют регулируемые трубы Вентури. Таким образом, возникает техническое противоречие:



**Рисунок 2 – Зависимость коэффициента гидравлического сопротивления  $\xi_{\text{сух}}$  от степени открытия горловины:**

- 1 – прямоугольная труба Вентури ККЦ Криворожского металлургического завода (1978 г.); 2 – труба Вентури с кольцевым регулируемым зазором Западно-Сибирского металлургического завода (1976 г.); 3 – труба Вентури с кольцевым зазором (II ступень) Череповецкого металлургического завода (1982 г.); 4 – прямоугольная регулируемая труба Вентури [6]

труба Вентури должна быть круглой и регулируемой, но при этом обходиться без передвижного конуса.

Одно из решений данного противоречия найдено в ГП «УкрНТЦ «Энергосталь», где разработано устройство регулирования расхода отходящих газов в круглой трубе Вентури с помощью износоустойчивой упругоэластичной вставки, расположенной в горловине и повторяющей ее конфигурацию. При увеличении или уменьшении рабочего объема вставки проходное сечение горловины тоже изменяется. Данный способ регулирования отличается более низким значением коэффициента гидравлического сопротивления трубы Вентури, чем при использовании передвижного конуса, и энергозатратами, сопоставимыми с расходом энергии при регулировании в прямоугольных трубах Вентури.

## ВЫВОДЫ

С точки зрения газодинамики оптимальными в применении являются круглые трубы Вентури, так как они обладают меньшим коэффициентом гидравлического сопротивления  $\xi_{\text{сух}}$ . Однако они не нашли широкого применения на территории СНГ из-за недостатков регулирующего органа – передвижного конуса, который характеризуется низким быстродействием и значительными энергозатратами на перемещение, а также в связи

со сложностью обеспечения равномерного орошения водой кольцевого зазора между конусом и горловиной.

Совершенствование регулирующего органа в круглых трубах Вентури позволяет в полной мере использовать их технические преимущества.

Круглые трубы Вентури с разработанным ГП «УкрНТЦ «Энергосталь» устройством регулирования расхода отходящих газов (в настоящее время на него оформляются патентные права) обеспечивают их эффективную очистку.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Русанов А.А.** Справочник по пыле- и золоулавливанию. – М. : Энергия, 1975. – 296 с.
2. Оработка на моделях возможности снижения энергозатрат на очистку газов регулируемыи круглыми пылеуловителями : отчет о НИР / ВНИПИЧерметэнергоочистка ; рук. Славутский Б.П. – Х., 1979. – 58 с. – Арх. № 096.
3. Внедрение газоочистки с кольцевым пылеуловителем конвертеров емкостью 400 т Череповецкого металлургии : отчет о НИР / ВНИПИЧерметэнергоочистка ; рук. Любченко В.В. – Х., 1982. – 66 с. – Арх. № 0492.
4. **Каненко Г.М.** Опыт эксплуатации установок мокрой газоочистки с регулируемыи трубами Вентури // Черная металлургия : Бюл. ин-та «Черметинформация». – 1983. – Вып. 22. – С. 59–62.
5. **Каненко Г.М., Волгин С.И. и др.** Оптимизация режима работы мокрой газоочистки 400-т конвертеров // Сталь. – 1984. – № 3. – С. 87–89.
6. **Гольдин Ш.Л., Кузнецкая Н.В., Подпоринов Б.Ф.** Методические указания к расчету труб Вентури и каплеуловителей в схемах мокрых газоочисток металлургических агрегатов. – Х. : ВНИПИЧерметэнергоочистка, 1974. – 39 с.
7. **Юринский Ю.В., Трубочкина С.В.** Компоновка золоуловителей с трубами Вентури в условиях действующих электростанций // Электрические станции. – 1973. – № 12. – С. 24–27.

*Поступила в редакцию 19.09.2013*

Розглянуто газодинамічні характеристики труб Вентури круглого і прямокутного перетинів. Визначено вплив коефіцієнта гідравлічного опору труб Вентури на ефективність пилоуловлювання та витрати енергії на очищення газу. Узагальнено результати багаторічних досліджень цих апаратів і запропоновано технічне рішення щодо удосконалення регулюючого органу в круглих трубах Вентури.

One be examined gas-dynamic characteristics for Venturi tubes of round and rectangular cross-sections. One be defined impact of coefficient of hydraulic resistance of Venturi tubes on efficiency of dust collecting and energy consumption for gas cleaning. One be summarized results of many-years investigation of these devices and one be proposed technical solution for upgrading of control element in round Venturi tubes.