

УДК 621.928.9

А.Р. Богомолов, П.Т. Петрик, Е.Ю. Темникова

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ПО ИССЛЕДОВАНИЮ АППАРАТА СУХОГО ПЫЛЕУЛАВЛИВАНИЯ

На промышленных предприятиях с целью создания нормальных санитарно-гигиенических условий труда, предупреждения загрязнения воздушного бассейна, полного и комплексного использования сырья широко применяют агрегаты и установки для улавливания пыли. Существующие системы газоочистки не обеспечивают достаточной степени улавливания наиболее распространенной для производств мелкодисперсной пыли размером менее 40 мкм и кажущейся плотностью около 1 кг/дм³, в связи с чем существует потребность создания эффективной системы очистки подобных воздушных потоков предприятия.

В литературе освещены некоторые типы и особенности устройств, позволяющих по предположению авторов эффективно улавливать мелкодисперсную пыль [1-3]. Наиболее интересны конструкции, позволяющие организовать пыле-газовый поток в циклонных аппаратах, сопровождающийся эффектом Коанда при истечении струи.

Область практики, связанная с процессами взаимодействия

струй с твердыми поверхностями, находит широкое применение в динамической очистке. Проявление эффекта Коанда связано со свойствами струи эжектировать окружающую жидкость (газ) из-за действия вязких сил. При изучении струйных течений в каналах, особенно если это связано с конкретными промышленными устройствами, эффект Коанда часто вообще не рассматривается, хотя оказывает существенное влияние на эффективность их работы. Известные теоретические модели присоединенных струйных течений (Bourque, Hoch, Абрамович и др.) [4] основаны на интегральных подходах и требуют экспериментальной информации.

В работе [4] проведены экспериментальные исследования присоединения к стенке плоских турбулентных струй, исходящих параллельно или под углом из сопла над уступом (эффект Коанда). Результаты исследований были сопоставлены с решением задачи при использовании интегрального подхода о присоединении двумерной турбулентной струи несжимаемой жидкости к близ-

лежащей стенке (Bourque).

Схематично вариант задачи течения для параллельной плоскости с уступом показан на рис. 1. Предположения, сделанные при решении задачи, были следующие:

- профиль скорости на срезе сопла равномерный, т.е. увеличение скорости, связанное с уменьшением давления внутри отрывной зоны пренебрежимо мало. Поток импульса на единицу длины равен $J=2(P_0-P_\infty)/2h$; - давление внутри отрывной зоны постоянно и осевая линия струи является дугой окружности радиуса r . Ширина струи мала по сравнению с r ; течение разделяется на две пристенные струи в точке, где продолжение осевой линии струи пересекается с плоскостью; эжекции внутри отрывной зоны нет.

Согласно предположению о постоянстве давления внутри отрывной зоны, перепад давления

$$\Delta P = P_\infty - P_b = \frac{J}{r}, \quad (1)$$

где P_∞ P_b P_0 – давление в окружающем пространстве, среднее давление в отрывной зоне и давление потока струи перед

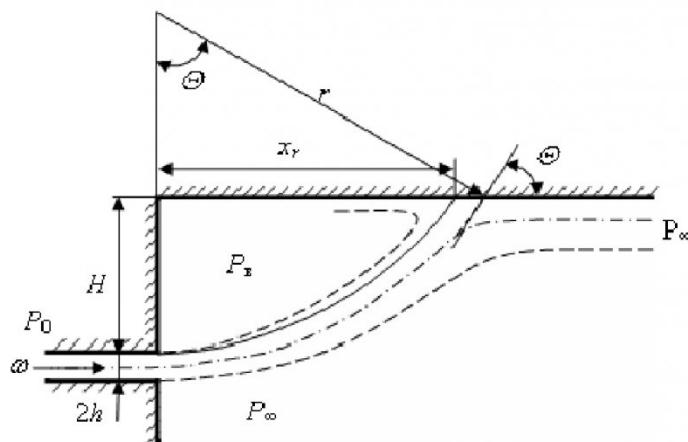


Рис. 1. Схема струйного течения для параллельной плоскости с уступом [4]

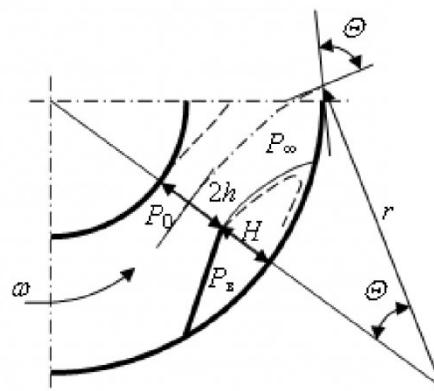


Рис. 2. Схема закрученного струйного течения

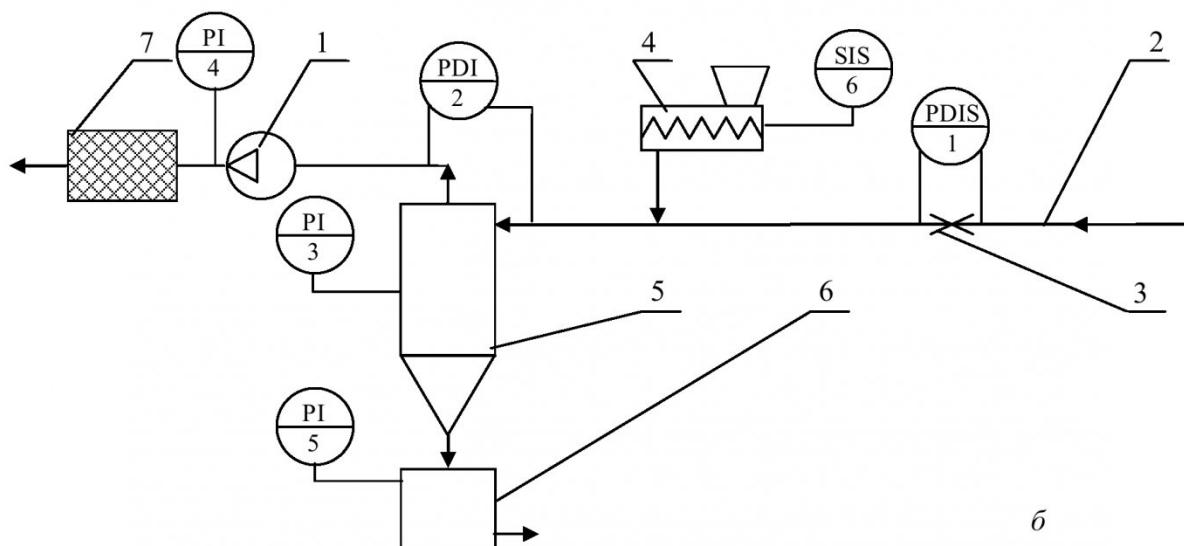


Рис. 3. Экспериментальный стенд: а) фотография; б) схема: 1 - трубопровод; 2 - диафрагма; 3 - питатель пыли; 4 - циклон; 5 - воздуходувка; 6 - рукавный фильтр; 7 - бункер

выходом из сопла, соответственно; $2h$ – ширина струи на срезе сопла.

Следовательно, безразмерное давление в отрывной зоне

$$C_p = \frac{P_v - P_\infty}{P_0 - P_\infty} = -2 \frac{2h}{r}. \quad (2)$$

Расстояние до точки при соединения разделяющей линии тока x_r рассчитывается приближенно

$$\frac{x_r}{2h} = \frac{r}{2h} \sin \theta - \frac{y}{2h \cdot \sin \theta}, \quad (3)$$

где y – расстояние, измеренное перпендикулярно оси струи, θ и t находятся как функции $H / 2h$ из соотношений, представленных в [4].

В работе Марковича [4] представлены результаты экспериментальных исследований Bourque по контурам постоян-

ного безразмерного давления C_p внутри отрывной зоны. Значения C_p изменялись в пределах от 0 до $-0,114$.

Многообразие возможных форм взаимодействия струй с поверхностями и широкая область практического применения трехмерных турбулентных закрученных струй требуют определения физических закономерностей таких течений и

создания новых математических моделей, а следовательно, и экспериментального изучения характеристик струйных потоков.

Экспериментальных и теоретических исследований, касающихся использования отрывных зон закрученных газовых потоков в качестве сепарационных устройств пыли, не обнаружено.

Физическая модель циклона с уступами с целью определения давления в отрывной зоне и использования ее в качестве сепарационной области для мелкодисперсных частиц из пылегазовых потоков представлена на рис. 2.

Задачей данной работы является создание экспериментальной установки для исследования эффективности циклонного аппарата по улавливанию пыли из запыленных воздушных потоков, сопровождающегося эффектом Коанда.

На рис. 3 представлена фотография и схема экспериментального стенда для исследования процесса улавливания пыли из воздушных потоков коксохимических производств.

При помощи воздуходувки 1 воздух из атмосферы поступает в трубопровод 2, проходит через диафрагму 3. Регулировка расхода воздуха происходит за счет изменения числа оборотов двигателя постоянного тока воздуходувки.

В то же время из спирального питателя 4 пыль подается в трубопровод, где она смешивается с воздухом, и полученный аэрозоль вводится тангенциаль но в верхнюю часть циклона 5. Частота вращения рабочего органа питателя задается регулятором электрического напряжения и измеряется тахометром на базе частотомера. В циклоне происходит отделение пыли от воздуха. Пыль собирается в бункере, а очищенный воздух выходит через выхлопную трубу циклона и перед выбросом в атмосферу дополнительно проходит через рукавный фильтр 7.

№	Элемент оборудования	Характеристика
1	Трубопровод	$d_{\text{вн}}=48$ мм
2	Диафрагма	$m=0,5; 0,4$
3	Питатель пыли	диаметр шнека 9 мм, шаг спирали 3 мм
4	Циклон	кварцевое стекло, $D=85$ мм, размеры характерны циклону НИИОГАЗ ЦН-15
5	Воздуходувка	$H=260$ мм рт. ст., $Q=1,4$ тыс. $\text{м}^3/\text{ч}$
6	Рукавный фильтр	бельтинг, 460×1250 мм
7	Бункер	стекло, $d=100$ мм, $h=150$ мм

В табл. 1 дана характеристика элементов основного оборудования.

В ходе эксперимента проводились измерения: а) перепад давления на диафрагме для определения расхода воздуха, сопротивление циклона, напор, создаваемый воздуходувкой и разрежение в зоне циклона и бункере U-образными водяными манометрами; б) продолжительность процесса улавливания секундомером; в) количество загруженной пыли в питатель, оставшейся пыли и уловленной пыли в циклоне весовым способом. Эффективность пылеуловителя определялась балансовым методом.

В экспериментальном стенде для измерения расхода и скорости воздуха используется мерная диафрагма. Длина прямого участка трубопровода до диафрагмы составляет 1000 мм, после – 670 мм, что соответствует требованиям к установке диафрагм [5]. Для проверки достоверности измеряемой величины расхода газового потока, полученной с помощью диафрагмы, использовали метод определения расхода посредством стандартной трубы Пито. Измерения проводили при трех различных расходах воздуха. Перемещение трубы Пито производилось от оси трубы к стенке. При сравнении измерения расхода использовалась диафрагма с модулем сужающего устройства $m = 0,4$. Расхождения составили $\varepsilon_1 = 3,46\%$; $\varepsilon_2 = -1,24\%$; $\varepsilon_3 = 1,22\%$.

Результаты измерений расхода воздуха с помощью диафрагмы и трубы Пито удовле-

Таблица 1

творительно согласуются, что показывает на достаточную точность определения расхода газа диафрагмой в ходе эксперимента.

Конструктивные особенности циклона, на котором проводились испытания, представлены на рис. 2 и 4. В циклоне расположен уступ по образующей цилиндрической части. На срезе уступа турбулентная струя запыленного потока попадает в ограниченное пространство с прилегающей боковой стенкой аппарата. При этом создается отрывная зона, в которой зарождается вихрь и разрежение, что позволяет перемещаться мельчайшим частицам пыли из области запыленной струи в область зоны разрежения и в дальнейшем двигаться частицам пыли по вихревой нити вниз и в

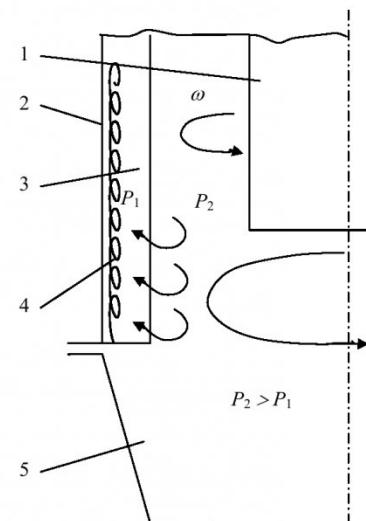


Рис. 4. Схема расположения вихревой нити в отрывной зоне за уступом: 1 – выхлопной патрубок; 2 – стенка циклона; 3 – уступ; 4 – область устойчивой вихревой нити; 5 – конус

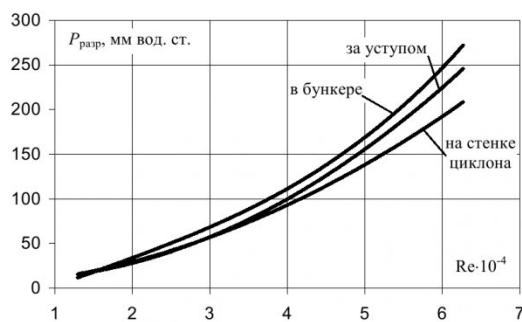


Рис. 5. Зависимость разрежения в различных зонах от числа Рейнольдса струи в циклоне

бункер.

Были проведены исследования по определению разрежения на стенке традиционного циклона (гладкая стенка), за уступом и в бункере. Замеры разрежения на гладкой стенке проводились на противоположной стороне от уступа для сохранения условий проведения процесса.

Результаты эксперимента, представленные на рис. 5, показали, что при $Re = 3,7 \div 6,2 \cdot 10^4$ за уступом создается большее разрежение, чем на стенке циклона без установки уступа, но меньше, чем в бункере. Поэтому имеется возможность отвода пыли, собирающейся за уступом, в бункер за счет разности давлений. До числа $Re = 3,7 \cdot 10^4$ разрежение за уступом и на стенке одинаковое - это область переходного режима течения струи, в этом диапазоне не создается отрывная зона за уступом.

Данные экспериментальных исследований, представленные на рис. 6, показали, что наличие уступа в циклоне привело к уменьшению гидравлического сопротивления аппарата на 30 % по сравнению с традиционным циклоном, что важно с точки зрения уменьшения эксплуатационных затрат. С ростом скорости газа гидравлическое сопротивление аппарата повышается.

На рис. 7 приведена зависимость безразмерного разрежения в отрывной зоне C_p от скорости потока на входном участке ω для двух соотношений $H/2h$. Безразмерное разрежение определялось по зависимости (2), предложенной в цитируемой автором [4] работе для плоского струйного течения. Величина P_0 определялась по зависимости динамического напора, отнесенного к единице объема газа: $P_0 = \rho \omega^2 / 2$,

где P_b , P_∞ – измеряемые ве-

личины, соответственно, за уступом и на гладком цилиндрическом участке циклона.

Можно отметить, что безразмерное разрежение C_p , создаваемое закрученным потоком значительно превышает соответствующие значения, полученные в цитируемой работе [4]. При скорости истечения 40 м/с C_p закрученного потока для соотношения $H/2h=0,8$ в 3,5 раза, а для $H/2h=3,2$ – в 2,5 раза превышает безразмерное разрежение при истечении плоской струи для параллельной плоскости за уступом.

Таким образом, закрученный поток при истечении из сопла создает более глубокое разрежение в отрывной зоне, что предполагает в связи с этим значительное увеличение сепарационного эффекта для разделения дисперсного потока, состоящего из мелких пылевидных частиц и газа. Использование этого результата позволит

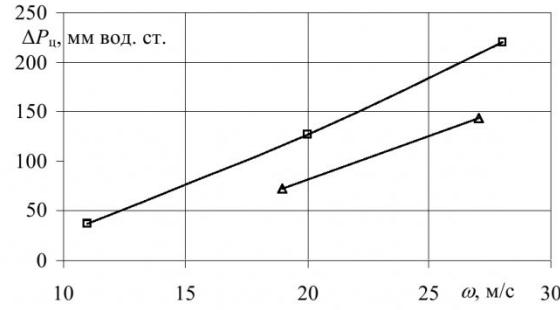


Рис. 6. Зависимость гидравлического сопротивления циклона от скорости газа: Δ – при наличии зоны разрежения; \square – без зоны разрежения

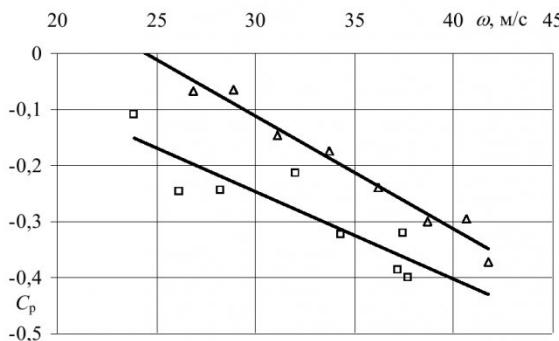


Рис. 7. Зависимость безразмерного разрежения C_p от скорости газа во входном участке: \square – $H/2h=0,8$; Δ – $H/2h=3,2$

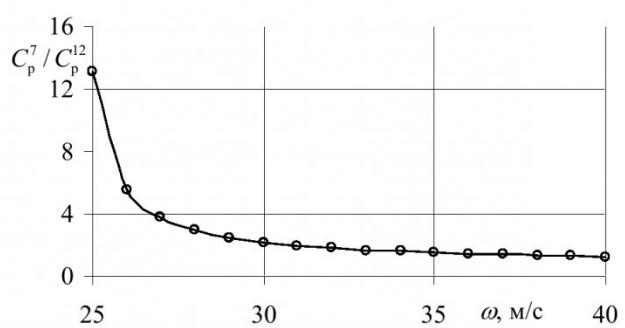


Рис. 8. Сопоставление величин безразмерного разрежения для двух геометрий уступов от скорости газа во входном участке

проводить сухую очистку промышленных запыленных потоков, состоящих из мелкодисперсной фракции (менее 40 мкм) с большей эффективностью по сравнению со стандартными циклонами, имеющими гладкую цилиндрическую часть корпуса.

В связи с этим предполагаем, что расстояние до точки присоединения разделяющей линии тока x_r , рассчитываемое приближенно по зависимости (3) при истечении плоской струи для параллельной плоско-

сти с уступом, в нашем модельном представлении для закрученного потока будет меньше в результате дополнительного воздействия на истекающую закрученную струю центробежной силы, направленной вдоль радиуса и равной для элементарной массы m , вращающейся на расстоянии R от вертикальной оси с угловой скоростью U как $\bar{F}_\phi = mU^2R$.

На рис. 8 представлено сопоставление величин безразмерного разрежения для двух

геометрий уступов, рассчитанных по осредненным опытным данным, изображенным на рис. 7. Из графика видно, что при геометрии уступа $H/2h=0,8$ и в диапазоне скоростей потока во входном участке 25÷30 м/с разрежение значительно выше, чем для геометрии $H/2h=3,2$.

С увеличением скорости превышение $C_p^{7/12}$ сохраняется, а при скорости потока более 35 м/с практически остается неизменным и равным 1,25.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Пат. 2102115 Российская Федерация, МПК⁶ В 01 D 45/06. Струйно-инерционный пылеуловитель / Квашнин И.М., Юнкеров Ю.И.; заявитель и патентообладатель Пензен. инж.-строит. ин-т. - № 94003081/25; заявл. 26.01.94; опубл. 20.01.98. – 3 с.: ил.
- Пат. 2174452 Российская Федерация, МПК⁷ В 04 С 5/103. Пылеуловитель / Завьялов Ю.И.; заявитель и патентообладатель ООО «ПЛАНЕТА-К» - № 2000125875/12; заявл. 10.10.00; опубл. 10.10.01. – 5 с.: ил.
- Пат. 2185316 Российской Федерации, МПК⁷ В 65 G 69/18. Устройство снижения пылеобразования при складировании / Завьялов Ю.И.; заявитель и патентообладатель ООО «ПЛАНЕТА-К» - № 2000120219/28; заявл. 24.07.00; опубл. 20.07.02. – 5 с.: ил.
- Маркович Д.М. Турбулентная струя в ограниченном пространстве: дис. ... к-та физ.-мат. наук: 01.04.14: защищена - Новосибирск, 1994. – 259 с.
- Правила 28-64 измерения расхода жидкостей, газов и паров стандартными диафрагмами и соплами. – М.: Издательство стандартов, 1978. – 151 с.

□ Авторы статьи:

Богомолов

Александр Романович

– канд. техн. наук, с.н.с. ИТ СО РАН, доц. каф. процессов, машин и аппаратов химических производств

Петрик

Павел Трофимович

– докт. техн. наук, проф., зав. каф. процессов, машин и аппаратов химических производств

Темникова

Елена Юрьевна

– ст. преподав. каф. процессов, машин и аппаратов химических производств

УДК 662.74

Х.А. Исхаков, Л.Л. Прилепская, В.С. Швед

СВОЙСТВА ОТДЕЛЬНЫХ КЛАССОВ КРУПНОСТИ УГЛЕЙ ДЛЯ КОКСОВАНИЯ И ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ ИХ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ

В условиях ухудшения сырьевой базы коксования и существенного дефицита хорошо спекающихся углей весьма актуален поиск технологических приемов, обеспечивающих в этих условиях улучшение или хотя бы сохранение на достигнутом уровне качества угольной шихты. Это может быть достигнуто различными способами,

основными из которых являются оптимизация степени измельчения компонентов шихты в зависимости от их спекаемости и зольности, увеличение насыпной массы за счет укрупнения помола, выбора рациональной схемы дробления углей. В связи с этим представляет интерес изучение технологических свойств углей, приме-

няемых для коксования, по их классам крупности.

В настоящей работе исследовались свойства некоторых кузнецких углей, являющихся компонентами угольной шихты Кемеровского коксохимического завода (ОАО «Кокс»). Для углей марок 2Г (ОФ «Комсомолец»), 2Ж (ОФ «Чертинская»), 1КСФ (ОФ «Анжерская») и