

содержания нефти и механических примесей в водах, предназначенных для закачки в пласт.

Кроме того, такие меры, обеспечивающие более полное извлечение нефти из сточных вод, предусматривают экономию энергоресурсов как в виде нефтяной плёнки, которая далее поступает на переработку, так и в виде снижения затрат, связанных с перекачкой излишних объёмов жидкостей.

**Список литературы:** 1. Буланов А.Н. «Регламент работы цеха первичной подготовки нефти на «Быстринском» НГДУ», Сургут, ОАО «Сургутнефтегаз», 1997. 2. Коваленко Е. «Сургутнефтегаз: право быть первым». ОАО «Сургутнефтегаз», 2007. 3. Кривцов А. И. Установка предварительного сброса воды Хитер-«Тритер» // Нефтегазопереработка и нефтехимия -2005. Уфа: Изд-во ГУП ИНХП РБ, 2005. 4. Ластовкин Г. А., Радченко Е. Д., Рудина М. Г. Ленинград, Химия, 1986. 5. Рабинович Г. П., Рябых П. М., Хохряков П. А., под ред. Судакова Е.Н. «Расчеты основных процессов и аппаратов нефтепереработки». Справочник. – М., «Химия», 1979. 6. Скобло А. И., Трегубова И. А., Егоров Н. Н. "Процессы и аппараты, нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности". – М., Государственное научно-техническое изд., 1962. 7. Эрих В.Н., Расина М.Г., Рудин М.Г. "Химия и технология нефти и газа". Ленинград, "Химия", 1972.

*Поступила в редколлегию 13.04.2010*

**УДК 66.074**

**И.В. ПИТАК**, канд. техн. наук, НТУ «ХПИ», г. Харьков

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА МОКРОГО УЛАВЛИВАНИЯ ПЫЛИ В РОТОРНОМ ВИХРЕВОМ АППАРАТЕ**

Охорона навколишнього середовища стала одним з пріоритетних напрямів розвитку та забезпечення екологічної безпеки України. Захист повітряного басейну від промислових викидів є складним процесом, який пов'язаний з постійною зміною технологій різних галузей промисловості, а також і вдосконалення технічних засобів очищення шкідливих викидів від промислових підприємств.

The protection of a surrounding medium became one of priority directions of a development and maintenance of ecological safety of Ukraine. The guard of air basin from industrial ejections is composite process, bound with stationary values by change of technologies of different industries, together with perfecting of means of clearing of harmful ejections from the industrial enterprises.

Для мокрой очистки газов от пыли используют различное оборудование отличающееся по устройству, производительности, принципу образования межфазной поверхности и т.д. общее, что объединяет эти аппараты – это развитая поверхность и высокие скорости взаимодействия газожидкостных потоков. По устройству и принципу действия аппараты мокрой очистки от пыли подразделяются на следующие группы: насадочные, полые, барботажные, ударно-инерционные, центробежные, динамические скоростные промыватели [1-6].

Наибольший интерес представляют мокрые пылеуловители инерционного осаждения частиц при резком изменении направления движения газового потока над поверхностью жидкости.

В основе работы мокрых пылеуловителей лежит контакт запыленных газов с жидкостью, при этом осаждение происходит на капли, поверхность газовых пузырей или пленку жидкости. Доминирующим механизмом осаждения является инерционный и центробежный [1, 2].

В общем случае в скоростных аппаратах мокрой очистки газов в газодисперсном потоке все механизмы действуют параллельно, и общую эффективность в роторном вихревом аппарате можно оценить по формуле вида

$$\eta = 1 - (1 - \eta_i) \cdot (1 - \eta_c), \quad (1)$$

где  $\eta_i$  – эффективность инерционного осаждения;  $\eta_c$  – эффективность очистки центробежными силами.

• **Центробежный механизм улавливания частиц**

Центробежная сила, действующая на частицы во вращающемся потоке, намного больше, чем гравитационная.

Сделаны попытки предварительно оценить эффективности улавливания частиц с использованием центробежной силы. В теоретических моделях допускается ряд предположений, которые не подтверждаются экспериментально. Другие методы основаны на использовании экспериментальных коэффициентов, которые позволяют предвидеть кривую фракционной эффективности со значительной степенью точности. Удовлетворительная теоретическая модель, основанная на реалистических предположениях о траектории частицы до сих пор еще не разработана, поэтому в настоящее время нельзя сделать выбор в пользу какого-либо наиболее обобщающего подхода к ее созданию [3, 4].

Представим графически как скорость частицы разлагается в спиральном газовом потоке (рис. 1)

Определим скорость осаждения частиц в нашем аппарате по формуле

$$w_{oc} = \frac{d^2 \cdot \rho_{mб} \cdot w_{зм}^2}{18 \cdot \mu \cdot 0.6 \cdot r}. \quad (2)$$

Зная скорость осаждения частиц в аппарате, можно определить время осаждения частиц

$$\tau = \frac{r - 0.2 \cdot r}{w_{oc}} = \frac{18 \cdot 0.8 \cdot r \cdot \mu \cdot 0.6 \cdot r}{d^2 \cdot \rho_{mб} \cdot w_{зм}^2} = \frac{9 \cdot r^2 \cdot \mu}{d^2 \cdot \rho_{mб} \cdot w_{зм}^2}. \quad (3)$$

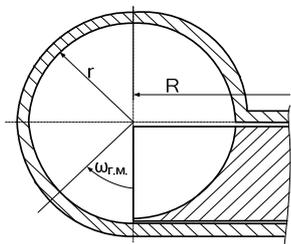


Рис. 1. Разложение скорости частицы в спиральном газовом потоке роторного вихревого аппарата

Зная основные составляющие геометрические размеры аппарата и расход воздуха для нашего аппарата определяем время пребывания частиц в аппарате

$$\tau_{np} = \frac{V_{ан}}{Q} = \frac{\pi \cdot r^2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot R}{Q} = \frac{2 \cdot \pi^2 \cdot r^2 \cdot R}{Q} \quad (4)$$

определим время пребывания частицы в точке «к» на радиусе «r»

Зададимся некоторой точкой «к», которая меньше 1 на радиусе «r» и

$$\tau(k) = \frac{r - k \cdot r}{w_{oc}} = \frac{(1 - k) \cdot r \cdot 18 \cdot \mu \cdot (1 + k) \cdot r}{2 \cdot d^2 \cdot \rho_{mб} \cdot w_{зм}^2} = \frac{9 \cdot (1 - k^2) \cdot r^2 \cdot \mu}{d^2 \cdot \rho_{mб} \cdot w_{зм}^2}. \quad (5)$$

Приравняем правые части уравнений (4) и (5):

$$\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot r^2 \cdot R}{Q} = \frac{9 \cdot (1 - k^2) \cdot r^2 \cdot \mu}{d^2 \cdot \rho_{mv} \cdot w_{zm}^2} \quad (6)$$

$$\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot R}{Q} = \frac{9 \cdot (1 - k^2) \cdot \mu}{d^2 \cdot \rho_{mv} \cdot w_{zm}^2}$$

Выразим из уравнения (6) значение  $(1 - k^2)$

$$(1 - k^2) = \frac{2\pi^2 \cdot R}{Q} \cdot \frac{d^2 \cdot \rho_{mv} \cdot w_{zm}^2}{9 \cdot \mu} = \frac{2\pi^2 \cdot R \cdot d^2 \cdot \rho_{mv} \cdot w_{zm}^2}{Q \cdot 9 \cdot \mu} \quad (7)$$

Зная значение времени пребывания частиц в аппарате и время пребывания частиц в точке «к» на радиусе «г» можно определить эффективность очистки в аппарате с применением центробежных сил по формуле

$$\eta_u = \frac{S_{кольца}}{S_{круга}} = 1 - k^2 \quad (8)$$

Для уточнения формулы по определению эффективности очистки в роторном вихревом аппарате с применением центробежного механизма улавливания в уравнении (7) значение Q заменим на значение коэффициента расхода, который

равен  $\gamma = \frac{Q}{\pi r^2 w_{p.k.}}$ , и значение  $k_M$ , который равен  $k_M = \frac{\tau_M}{\tau_{окр}} \approx \frac{w_{m2}^2}{w_{окр.г}^2}$  - соотношение

меридиональных и окружных напряжений на границе газ-жидкость. Допустим, что  $w_{m2}^2$  равно  $w_{m2}^2 = \frac{w_{окр}^2}{1 + \frac{1}{k_M}} = \frac{k_M \cdot w_{окр}^2}{k_M + 1}$ . Тогда формула (3.7) будет выглядеть

следующим образом

$$(1 - k^2) = \frac{2\pi^2 \cdot R \cdot d^2 \cdot \rho_{tv} \cdot w_{окр.к}^2}{9\mu\gamma\pi \cdot r^2 \cdot w_{p.к}} \cdot \frac{k_M}{k_M + 1} = \frac{2\pi^2 \cdot R \cdot d^2 \cdot \rho_{tv} \cdot w_{окр.к}}{9\mu\gamma r^2} \cdot \frac{k_M}{k_M + 1} \quad (3.9)$$

По результатам наших экспериментальных исследований  $k_M \approx \frac{0.4}{\gamma}$ . Тогда формула (8) будет выглядеть следующим образом

$$(1 - k^2) = \frac{2}{9} \cdot \frac{\pi \cdot R \cdot d^2 \cdot \rho_{mv} \cdot w_{окр.к}}{\mu \cdot \gamma \cdot r^2} \cdot \frac{\frac{0.4}{\gamma}}{\frac{0.4}{\gamma} + 1} \quad (10)$$

Выразим  $w_{окр.к}$  в уравнении (10) через  $w_{окр.к} = \omega R$ , а  $\omega = \frac{\pi n}{30}$  получим выражение  $\eta_u$  для роторного вихревого аппарата

$$\eta_u = \frac{5}{9} \cdot \frac{\pi \cdot R^2 \cdot d^2 \cdot \rho_{mv} \cdot \omega}{\gamma \cdot \mu \cdot r^2} \cdot \frac{0,4}{(0,4 + \gamma)} \quad (11)$$

Преобразовав уравнение (11) получим выражение для определения эффективности очистки в роторном вихревом аппарате мокрым способом с применением центробежных сил

$$\eta_y = \frac{5}{9} \cdot \frac{\pi \cdot R \cdot d_c^2 \cdot \rho_{m\phi} \cdot \omega}{\mu} \cdot \left(\frac{R}{r}\right)^2 \cdot \frac{1}{(1 + 2,5\gamma)\gamma} \quad (12)$$

• **Инерционный механизм осаждения на капли жидкости**

В модели инерционного столкновения принято, что частицы обладают массой и, следовательно, инерцией, но не имеют размеров. Для того, что учесть реальные размеры частиц, в механизме захвата принимают, что частицы имеют определенные размеры, но не обладают массой, и поэтому они следуют по линиям тока газа вокруг улавливающего тела.

Если в газовый поток, протекающий через пылеуловитель, введен аэрозоль, частицы аэрозоля будут следовать по линиям газового потока до тех пор, пока они не начнут отклоняться вблизи улавливающего материала. Благодаря своей массе частицы обладают достаточным моментом инерции для того, чтобы двигаться прямолинейно по направлению к улавливающему материалу, прорываясь через линии тока (рис. 2). Внешние силы, например, силы тяжести, будут способствовать этому эффекту.

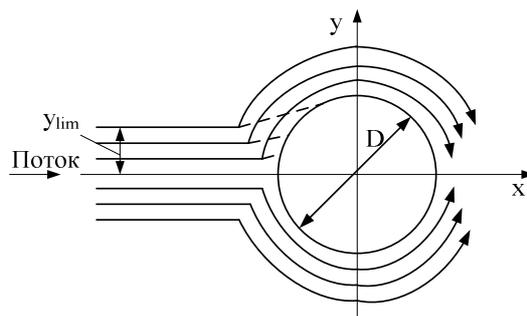


Рис. 2. Схема обтекания цилиндра

Сплошной линией обозначен линия потока газа, пунктирной – траектория частиц, улавливаемых при инерционном столкновении.

Для определения эффективности очистки с использованием сил инерции для вихревого аппарата можно применить формулу следующего вида

$$\eta = \frac{V_{очищ}}{V_{общ}}, \quad (13)$$

где  $\eta$  – отношение количества очищенного воздуха в аппарате каплями определенного диаметра в м<sup>3</sup>/с к общему количеству воздуха прошедшего через аппарат в м<sup>3</sup>/с

$$\eta = \frac{V_{очищ}}{V_{общ}}. \quad (14)$$

Объем очищенного воздуха определяем из следующего выражения

$$V_{очищ.} = n_k \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot K_m \cdot K_{St} \cdot r_{прот.ч} \cdot \quad (15)$$

Количество капель в аппарате можно определить исходя из условно принятого объема жидкости но это не совсем правильно.

$$n_k = \frac{V_{\text{вн.жс}}}{V_{\text{капли}}} = \frac{V_{\text{вн.жс}}}{\frac{\pi \cdot d_k^3}{6}} = \frac{w_{\text{м.пл.}} \cdot h_{\text{пл.}} \cdot 2\pi \cdot R}{\frac{\pi \cdot d_k^3}{6}} =$$

$$= \frac{w_{\text{м.пл.}} \cdot 2/3 k_3 \cdot r \cdot 2\pi \cdot R}{\frac{\pi \cdot d_k^3}{6}} = \frac{8\pi \cdot k_3 \cdot r \cdot R \cdot w_{\text{м.пл.}}}{\pi \cdot d_k^3} \quad (16)$$

Необходимо определить неизвестные величины в уравнении (16). Определим объем жидкости, который подается на рабочее колесо. Чтобы определить объем жидкости условно принимаем, что внутренний объем жидкости зависит от толщины пленки, тогда

$$V_{\text{вн.жс}} = w_{\text{м.пл.}} \cdot l \cdot h_{\text{пл.}} = w_{\text{м.пл.}} \cdot 2\pi \cdot R \cdot h_{\text{пл.}} \quad (17)$$

В уравнении (17) два неизвестных. Попробуем определить чему равна толщина пленки. Из экспериментальных исследований известно, что  $\frac{v_{\text{пл.}}}{v_{\text{ан.}}} = h_{\text{пл.}}$

Откуда

$$h_{\text{пл.}} = \frac{v_{\text{пл.}}}{3 \cdot \pi^2 \cdot R \cdot r} \quad (18)$$

Выражаем из уравнения (18)  $v_{\text{пл.}}$

$$v_{\text{пл.}} = v_{\text{ан.}} \cdot k_3 = \pi \cdot r^2 \cdot 2\pi \cdot R \cdot k_3 \quad (19)$$

где  $k_3$  - коэффициент, учитывающий отношение расхода воды внутри аппарата

к расходу воздуха  $k_3 = f\left(\frac{V_{\text{вн.}}}{Q_g}\right)$ .

Подставим уравнение (3.19) в уравнение (18) и получим выражение для определения высоты пленки

$$h_{\text{пл.}} = \frac{2\pi^2 \cdot r^2 \cdot R \cdot k_3}{3\pi^2 \cdot r \cdot R} = \frac{2}{3} \cdot k_3 \cdot r \quad (20)$$

Подставим полученное уравнение (20) в уравнение (17) и получим уравнение для определения объемного расхода жидкости (внутреннего), который поступает на рабочее колесо

$$V_{\text{вн.жс}} = 2\pi \cdot R \cdot \frac{2}{3} \cdot r \cdot k_3 \cdot w_{\text{м.пл.}} = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R \cdot r \cdot k_3 \cdot w_{\text{м.пл.}} \quad (21)$$

Подставим уравнение (21) в уравнение (16) для определения количества капель в аппарате и получим

$$n_k = \frac{V_{\text{вн.жс}}}{V_{\text{капли}}} = \frac{4}{3} \cdot \frac{\pi \cdot R \cdot r \cdot k_3 \cdot w_{\text{м.пл.}}}{\frac{\pi d^3}{6}} = \frac{8 \cdot R \cdot r \cdot k_3 \cdot w_{\text{м.пл.}}}{d^3} \quad (22)$$

Зная количество капель, определяем объем воздуха прочищенного каплями

$$V_{\text{ч.}} = \frac{\pi d^2}{4} \cdot n_k \cdot (k_T \cdot r) \cdot K_{st} \quad (23)$$

где  $(k_T \cdot r)$  - коэффициент, учитывающий длину траектории;  $K_{st}$  - параметр инерционного столкновения.

Подставим уравнение (22) в уравнение (23) и получим уравнение для определения объема прочищенного воздуха

$$V_{ч.} = \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{V_{вн} \cdot (k_T \cdot r) \cdot K_{st}}{\pi \cdot d_{\kappa}^3} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{вн} \cdot (k_T \cdot r) \cdot K_{st}}{d_{\kappa}}. \quad (24)$$

Зная объем прочищенного воздуха и общий объемный расход воздуха в аппарате определяем инерционную эффективность очистки

$$\eta_I = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{вн} \cdot (k_T \cdot r) \cdot K_{st}}{Q \cdot d_{\kappa}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{K_{\varepsilon} \cdot (k_T \cdot r) \cdot K_{st}}{d_{\kappa}}. \quad (25)$$

Установлено, что в основе процесса мокрого уловления пыли в роторном вихревом аппарате лежит контакт запыленных газов с жидкостью, при этом выделено два основных механизма: центробежный механизм, который обусловлен интенсивной закруткой газовой фазы в меридиональном сечении, и инерционного захвата частиц пыли каплями жидкости. Эффективность инерционного осаждения пропорциональная количеству воды, которая циркулирует в аппарате и разбрызгивается рабочим колесом.

Определено, что эффективность центробежного улавливания пыли возрастает пропорционально частоте вращения рабочего колеса и квадрату отношения радиуса рабочего колеса к радиусу меридионального сечения проточной части [5, 6].

Экспериментально подтверждено, что при увеличении расхода воздуха эффективность очистки снижается.

**Список литературы:** 1. И.В. Питак, П.П. Хусточкин, В.Ф. Моисеев, В.П. Шапорев. Аппарат для проведения процессов абсорбции и газоочистки //Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків:НТУ «ХПІ» - 2005. -№9. – С.3-6. 2. І.В.Пітак, О.Г. Трошин, В.Ф. Моїсеєв, В.П. Шапорев. Можливості використання тороїдального контактного елемента в вугільній промисловості //Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ» - 2006. - №10. – С.137-142. 3. И.В. Питак, А.Г. Трошин, В.Ф. Моисеев, А.В. Сурков. Гидравлическая характеристика роторного массообменного аппарата //Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: «Хімія, хімічна технологія та екологія». – Харків: НТУ «ХПІ» - 2007. - №32. – С. 93-100. 4. Трошин А.Г., Питак И.В. О режимах движения жидкой фазы в роторном вихревом массообменном аппарате //Інтегровані технології та енергозбереження //Щоквартальний науково-практичний журнал. – Харків: Національний технічний університет «ХПІ», 2007. - №4. – С. 31-37. 5. И.В. Питак, А.Г. Трошин, В.Ф. Моисеев. Определение эффективности очистки газозадушенного потока в роторном массообменном аппарате // Східно-Європейський журнал передових технологій – Харків: Технологічний центр, 2007, № 5/4 (29) – с. 9–12. 6. Патент України на корисну модель. № 29985 від 11.02.2008, МПК В 01 D 3/00. Роторний масообмінний апарат / Пітак І.В., Трошин О.Г., Моїсеєв В.Ф., Шапорев В.П.

Поступила в редколлегию 16.03.2010