

щей 5 %.

4. Поскольку проверка адекватности принятой модели показала её полную работоспособность, в дальнейшем целесообразно провести апробацию данной модели для расчёта процесса регенерации.

Литература

1. Очистка технологических газов / Под ред. Т.А. Семеновской и И.Л. Лейтеса. – М.: Химия, 1977. – 488 с.
2. Рамм В.М. Абсорбция газов. — М.: Химия, 1976. — 654 с.
3. Исследование физико-химических свойств модифицированного МДЭА–абсорбента для тонкой очистки синтез–газа от диоксида углерода в производстве аммиака / И.Л. Лейтес, А.К. Аветисов, Н.В. Язвикова и др. – М.: ФГУП «НИФХИ им. Л.Я. Карпова», 2012.
4. Очистка промышленных выбросов и утилизация отходов. Сборник научных трудов. Л., 1985.
5. Дильман В.В., Соколов В.В., Кулов Н.Н., Юдина Л.А. Опыт разработки и эксплуатации интенсивного абсорбера очистки технологического газа от диоксида углерода // Теоретические основы химической технологии. 2012. Т. 46. № 1. С. 3.
6. The Chemical Journal / Химический журнал / Химический саммит: курс на энергоэффективность; №4 (Апрель 2010)

Расчет эффективности улавливания капель в осевых центробежных сепараторах с лопастными завихрителями

к.т.н. доц. Жихарев А.С., Черепанова О.А.
Университет машиностроения
+7 (499) 267-10-13

Аннотация. Произведенные измерения показали, что при расчете эффективности сепарации дисперсной фазы в осевых центробежных сепараторах с лопастными завихрителями требуется учитывать действие трех факторов: осаждения под действием силы инерции, турбулентной диффузии и перемещения частиц под действием ненулевой радиальной составляющей осредненной скорости потока. В случае мелких частиц можно рассматривать индивидуальное влияние каждого из отмеченных факторов. Эффективность улавливания зависит главным образом от величины концентрации тонкодисперсных частиц и скорости их осаждения в пристенной области. Каждой выбранной конструкции сепаратора соответствует индивидуальный диапазон устойчивой работы, при котором достигается минимальная величина уноса.

Ключевые слова: Центробежный, сепаратор, лопастной завихритель, турбулентная диффузия, силы инерции, концентрация, дисперсная фаза, унос жидкости, пристенная зона, скорость газа.

Выбор конструкции центробежного сепаратора определяется, прежде всего, величиной уноса, допустимой в каждом конкретном случае работы технологического оборудования. Разработка новых конструкций и внедрение центробежных сепараторов в промышленность сдерживается сложностью гидродинамического расчета и расчета эффективности сепарации на стадии их проектирования.

Исследования гидродинамики закрученных газовых потоков проводили на экспериментальной установке, основным узлом которой был центробежный сепаратор со сменными лопастными завихрителями [1, 2]. Сепаратор имел диаметр сепарационной зоны 200 мм и был выполнен по схеме аппарата с нижним центральным вводом газокapельной смеси, нижней зоной слива уловленной жидкости и верхним выхлопным патрубком. На нижнем централь-

ном входе устанавливались сменные лопастные завихрители: один аксиально-тангенциального типа (АТ-75) с углом наклона лопасти к перпендикулярному сечению аппарата, равным $\alpha=75^\circ$, и диаметром входа газа $DBX=100$ мм и второй аксиального типа (А-60) с углом наклона лопасти к оси цилиндрического канала $\alpha=60^\circ$ и диаметром входа газа $DBX=150$ мм. Скорость газа во входном патрубке изменялась в пределах от 5 до 52 м/с.

В рамках предложенной модели сепарации частиц [2] эффективность их улавливания определяется величиной потока на стенку аппарата J_w , который может быть определен для каждого диаметра частиц по уравнению:

$$J_w \approx \int_a^r (V_{\text{ос}} + D_f \frac{\partial(\ln \alpha)}{\partial \rho}) \rho d\rho \left/ \int_0^r \frac{\rho^2}{\alpha R} d\rho \right., \text{ при } r \rightarrow R. \quad (1)$$

В уравнение (1) наибольший вклад вносят значения концентрации в пристенной области. На малых расстояниях от стенки аппарата влиянием диффузии можно пренебречь по сравнению с интенсивностью осаждения, и уравнение (1) приближенно может быть записано в виде:

$$J_w \approx \frac{3}{2} (V_{\text{ос}} \alpha)_w, \quad (2)$$

где величины скорости осаждения и концентрации частиц взяты для пристенной зоны. Эффективность улавливания дисперсной фазы растет пропорционально квадрату тангенциальной составляющей скорости газа в пристенной зоне.

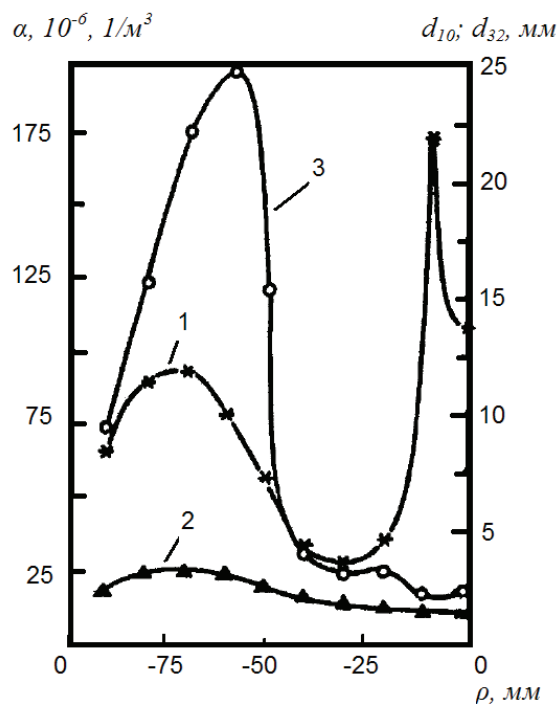


Рисунок 1. Изменение концентрации α среднеарифметического d_{10} и объемно-поверхностного d_{32} диаметров капель по радиусу сепаратора АТ-75 (соответственно кривые 1-3)

Величину уноса ω жидкой дисперсной фазы из циклонного сепаратора определяли экспериментально по концентрации растворенной соли Na_3PO_4 , накопившейся в барботересоленакопителе за время одного опыта. Конечную концентрацию соли измеряли с помощью спектрофотометра "ТЕСАТОР" – прибора, предназначенного для определения концентрации фосфат-иона в водных растворах в пределах от 0,1 до 1,0 мг/л раствора [1, 2].

Для сепараторов с завихрителями АТ-75 и А-60 зависимость уноса капель от скорости

ввода имеет две ярко выраженные области. В первой области с увеличением $W_{\text{вв}}$ наблюдается снижение величины уноса [1]. Данный факт, по-видимому, объясняется увеличением скорости осаждения частиц дисперсной фазы $V_{\text{рос}}$ в пристенной области (1), которая растет пропорционально скорости ввода потока в аппарат во второй степени. Концентрация же частиц дисперсной фазы в пристенной области с ростом $W_{\text{вв}}$ в соответствии с рис.1, на участке падения уноса должна уменьшаться. При достижении некоторого критического значения $W_{\text{вв}}$ наблюдается резкое возрастание величины уноса, вызванное срывом капель жидкости с поверхности пленки жидкости, находящейся на стенках циклона. Для первой области характерен постоянный слив избытка жидкости из вращающегося на внутренней поверхности корпуса жидкостного кольца в нижнюю часть центробежного сепаратора. По мере накопления жидкости в кольце оно спускается ниже к завихрителю, увеличиваясь в размере. Этот режим обеспечивают наибольшую эффективность разделения газожидкостной смеси.

Для второй области зависимости $\omega=f(W_{\text{вв}})$ характерен пульсационный режим образования жидкостного кольца, срыв капель с его поверхности и резкое возрастание уноса. Значение критической скорости ввода газа для А-60 составляет 14 м/с и для АТ-75 – 41 м/с. Увеличение скорости ввода свыше критических $W_{\text{вв}}$ влечет за собой отвод жидкости из сепаратора в верхний патрубок в виде восходящих спиральных струй, поднимающихся по стенке аппарата.

Уравнение (1) было использовано для расчета эффективности улавливания капель в осевом сепараторе с лопастным завихрителем АТ-75. Эффективность улавливания определялась величиной потока капель на стенки сепаратора и концентрацией капель в очищенном газе. При расчетах использованы полученные экспериментальные данные (рисунок 1).

Начальное содержание капель в газе перед сепаратором составляло $q_{\text{H}}=0,04$ кгж/кг г. Изменение концентрации капель в газе, зависит от текущего радиуса. На участке $r=(0 \text{ :-} 0,4)R$ принято $\alpha=\alpha_{\text{H}}$. В пристенной зоне сепаратора при $r=(0,4 \text{ :-} 1,0)R$ концентрация капель в газе увеличивается (рисунок 1). Расчет по уравнению (1) проводился численным методом. При этом использовались следующие соотношения:

$$\alpha_{\text{H}} = q_{\text{H}} \frac{\rho''}{\rho'} \quad (3)$$

где α_{H} – начальная концентрация капель жидкости в газе, $\text{м}^3/\text{м}^3$.

$$I_{\text{H}} = \frac{V'' \alpha_{\text{H}}}{F_3 3600}, \quad (4)$$

где I_{H} – начальный поток капель через лопастной завихритель, $\text{м}^3/\text{м}^2\text{с}$;

V'' – расход газа, м^3 ;

F_3 – боковая поверхность конического лопастного завихрителя, м^2 .

Поток неуловленных в сепараторе капель, отнесенный к боковой поверхности лопастного завихрителя:

$$I_{\omega} = I_{\text{w}} - I_{\text{H}} \quad (5)$$

Концентрация капель в отводимом из сепаратора газе:

$$\alpha_{\omega} = I_{\omega} / W_3'' \quad (6)$$

W_3'' – скорость газа на выходе из лопастного завихрителя, м/с.

В качестве расчетного диаметра капель принимался среднемассовый диаметр d_{50} входе в лопастной завихритель. Результаты расчетов приведены в табл. 1.

Произведенные измерения показали, что при расчете эффективности сепарации дисперсной фазы в осевых центробежных сепараторах с лопастными завихрителями требуется учитывать действие трех факторов: осаждения под действием силы инерции, турбулентной диффузии и перемещения частиц под действием ненулевой радиальной составляющей ос-

редненной скорости потока. В случае мелких частиц можно рассматривать индивидуальное влияние каждого из отмеченных факторов. Эффективность улавливания зависит главным образом от величины концентрации тонкодисперсных частиц и скорости их осаждения в пристенной области. Каждой выбранной конструкции сепаратора соответствует индивидуальный диапазон устойчивой работы, при котором достигается минимальная величина уноса.

Концентрация дисперсной фазы в пристенной зоне определяется целым рядом факторов, в том числе и конструкцией завихрителя осевого центробежного сепаратора. Концентрация частиц дисперсной фазы при расчете эффективности улавливания может быть найдена либо экспериментально, либо путем численного решения задачи о движении закрученного взвесенесушеного турбулентного потока в центробежном осевом сепараторе. В последнем случае могут быть получены теоретические зависимости величины уноса от расхода газа через аппарат и нагрузки по улавливаемой дисперсной фазе.

Таблица 1

Скорость газа в завихрителе, W_3'' , м/с	Начальная концентрация капель в газе, α_n , м ³ /м ³	Диаметр капель на входе в сепаратор, d_{50} , м	Окружная компонента скорости газа, U_ϕ , м/с	Начальный поток капель в завихрителе, I_n , м ³ /м ² с	Поток капель на стенки сепаратора, I_w , м ³ /м ² с	Поток капель, уносимых из сепаратора, I_ω , м ³ /м ² с	Концентрация капель в газе на выходе из сепаратора, α_ω , м ³ /м ³
1,53	4,8·10 ⁻⁵	(27÷30)·10 ⁻⁶	5,1	7,3·10 ⁻⁵	7,12·10 ⁻⁵	1,25·10 ⁻⁵	8,2·10 ⁻⁶
2,62			6,97	1,26·10 ⁻⁴	1,11·10 ⁻⁴	1,44·10 ⁻⁵	5,5·10 ⁻⁶
3,92			11,87	1,83·10 ⁻⁴	1,65·10 ⁻⁴	2,1·10 ⁻⁵	5,0·10 ⁻⁶
5,67			16,86	2,7·10 ⁻⁴	2,6·10 ⁻⁴	1,2·10 ⁻⁵	3,7·10 ⁻⁶
7,21			20,1	3,45·10 ⁻⁴	3,22·10 ⁻⁴	2,3·10 ⁻⁵	3,2·10 ⁻⁶

Литература

1. В.В.Казаков, А.А. Костомахин, А.С. Жихарев, А.М. Кутепов //Теоретические основы химической технологии, 1993. Т.27.№ 1.С.69
2. В.В. Казаков, С.Н. Поляков, А.А.Костомахин, А.С.Жихарев //Хим.пром. 1994. №8. С.33

Роль хрома в коррозионно-электрохимическом поведении углеродистых сталей

д.х.н. с.н.с. Реформатская И.И., д.х.н. Подобаев А.Н., Шишлов Д.С., Чибышева В.Д.,
к.х.н. Артамонов О.Ю.

Научно-исследовательский физико-химический институт им. Л.Я. Карпова,
Университет машиностроения
reformir@yandex.ru

Аннотация. В нейтральных (рН=7,55) и слабощелочных (рН=8,74) хлоридсодержащих растворах исследовано коррозионно-электрохимическое поведение модельных углеродистых сталей, содержащих до 1,05 % Сг. Показано, что введение хрома в углеродистые стали затрудняет их пассивацию, а микролегирование титаном оказывает благоприятное влияние на их пассивируемость и питтингостойкость. Высказано предположение, что наблюдаемое влияние хрома и титана на пассивируемость и питтингостойкость низколегированных сталей связано с изменением энергетического состояния поверхности металла.

Ключевые слова: сталь, пассивация, питтинг, общая коррозия, химический состав

До последнего времени было принято оценивать эксплуатационные свойства (в том