

**О ВЛИЯНИИ СТРУКТУРЫ ДИСПЕРГАТОРОВ
НА СКОРОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ
ПОПУТНОГО НЕФТЯНОГО ГАЗА ОТ СЕРОВОДОРОДА**

**ON THE INFLUENCE OF THE DISPERSANTS' STRUCTURE
ON THE SPEED OF A TECHNOLOGICAL PROCESS
OF THE PASSING OIL GAS CLEARING FROM HYDROGEN SULPHIDE**

М.И.ПАНИН, А.Е.ЦИМБАЛЮК, А.В.АНЦИФЕРОВ, С.Д.НИКОЛАЕВ, И.В.РЫБАУЛИНА
M.I. PANIN, A.E. TSIMBALJUK, A.V. ANTSIFEROV, S.D. NIKOLAEV, I.V. RYBAULINA

**(Московский государственный текстильный университет им. А.Н.Косыгина,
Ульяновский государственный технический университет)
(Moscow State Textile University "A.N. Kosygin",
Ulyanovsk State Technical University)
E-mail: nsd@staff.msta.ac.ru**

Мотальные пакетки специального назначения, применяемые в химических процессах очистки попутного нефтяного газа от сероводорода в качестве диспергаторов, позволяют не только значительно повысить скорость протекания реакции взаимодействия фаз (газ-жидкость), но и управлять ею за счет выбора структуры намотки диспергирующих слоев. Применение сомкнутых, замкнутых или спиралевидных структур намотки нити на профильный каркас позволяет регулировать пористость, газопроницаемость диспергатора, а следовательно, и размеры газовых пузырьков, и суммарную площадь контакта фаз (газ-жидкость), то есть скорость реакции очистки газа.

Winding packages of a special purpose, applied in chemical processes of passing oil gas clearing from hydrogen sulphide as dispersants, allow not only to raise considerably a speed of the reaction of stages interaction course (gas-liquid), but also to operate it at the expense of a choice of the structure of dispersing layers twisting. Application of the closed, endless or spiral structures of a thread twisting on a profile frame allows to regulate porosity, gas permeability of a dispersant, and consequently, the sizes of gas bubbles, and the total area of the contact of stages (gas-liquid), that is the speed of gas purification reaction.

Ключевые слова: мотальные паковки, диспергатор, пористость, спиралевидная структура, структура намотки, размеры пузырьков, намотка, скорость очистки газа.

Keywords: reeling packages, a dispersant, porosity, strombuliform framework, twisting framework, the sizes of alveoles, twisting, speed of fettling of gas.

Мотальные паковки специального назначения все шире используются в различных отраслях хозяйствования. Особый интерес вызывает использование их в вихревых аппаратах при очистке попутного нефтяного газа от сероводорода. В данных аппаратах физико-химический процесс выделения серы (как выходного продукта) осуществляется за счет взаимодействия контактирующих фаз, которыми являются попутный нефтяной газ и водный раствор катализатора. Процесс взаимодействия фаз (газ-жидкость) происходит в вихревых контактных устройствах различной конструкции. Задача данных устройств состоит в обеспечении барботажа газожидкостной струи и в обеспечении высокой скорости технологического каталитического процесса.

Как отмечено в работе [1], скорость технологического процесса обуславливается сочетанием прямой, обратной и побочных реакций, а также скоростью диффузии исходных веществ в зону реакции и вывода продуктов взаимодействия из реакционной зоны.

Выход продукта (степень превращения) для процесса межфазной массопередачи определяется скоростью технологического процесса. Для увеличения скорости процесса необходимо увеличивать определяющие параметры: ΔC – движущую силу процесса; F – поверхность соприкосновения реагирующих фаз; K – константу скорости реакции (коэффициент массопередачи, уравнение Аррениуса).

Существует несколько путей их увеличения. Наиболее рациональными путями для данного конкретного процесса и наименее затратными, по нашему мнению, являются увеличение поверхности соприкосновения реагирующих фаз и константы скорости (за счет усиления турбулизации системы).

Для этой цели предложено использовать в качестве вихревого контактного устройства диспергатор, формируемый на базе мотальных паковок специального назначения. Структура намотки диспергатора позволяет дробить непрерывный поток неочищенного газа на мелкие пузырьки, суммарная площадь поверхности которых во много раз увеличивает поверхность соприкосновения фаз (газ-жидкость). Кроме того, турбулентное перемещение пузырьковой массы газа увеличивает число столкновений реагирующих молекул. В гетерогенных системах перемешивание заменяет медленную молекулярную диффузию, которой определяется суммарная скорость процесса, на более быструю конвективную. Кроме того, перемешивание, как правило, увеличивает поверхность и время взаимодействия фаз и тем самым также ускоряет протекание прямой реакции.

Выбор оптимальной структуры намотки диспергатора, обеспечивающей формирование однородной мелкопузырчатой массы газа, подаваемого на очистку, является важной, требующей проведения дополнительных исследований, задачей.

Известно [2], что пористой ячеистой структурой обладают замкнутые и спиралевидные намотки. Намотками, обладающими минимальными размерами пор (только порами в межволоконном пространстве нити), являются намотки сомкнутой структуры.

На рис. 1 показаны соответственно: а) намотка сомкнутой структуры; б) намотка замкнутой структуры и в) намотка спиралевидной структуры. Большое многообразие видов намоток затрудняет выбор оптимальной структуры для диспергатора, поэтому следует рассмотреть их подробнее. Все виды вышеуказанных намоток, как видно из рис. 1, имеют ромбовидные

поры с диагоналями a и b , рис 2 (развертка поры). Для намотки диспергатора любого диаметра размеры пор можно определить по формулам:

$$b = \frac{\pi D}{P}, \quad (1)$$

где D – текущий диаметр намотки диспергатора, м; $P = 1; 2 \dots$ – степень замыкания намотки (целое число выбирается при создании требуемой структуры намотки, чем больше P , тем меньше размер пор):

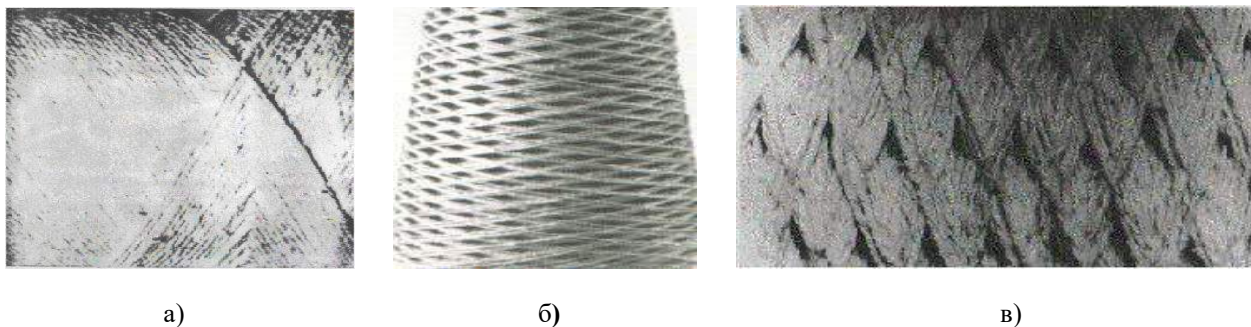


Рис. 1

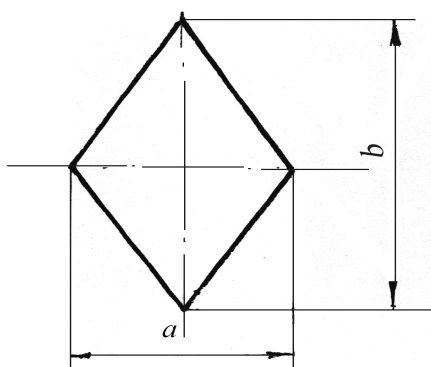


Рис. 2

Из формул (1) и (2) следует, что площадь одной поры S_0 будет определяться выражением:

$$S_0 = 2ab = 2 \frac{2\pi D}{P} \frac{2H}{n_1 P} = \frac{4\pi D H}{n_1 P^2}. \quad (3)$$

Все величины (кроме D – диаметра диспергатора), входящие в данное выражение, величины постоянные для конкретного вида структуры намотки, что следует

$$a = \frac{2H}{n_1 P}, \quad (2)$$

где H – высота намотки диспергатора, м; $n_1 = [ki_0]$ – целая часть числа ki_0 , определяемая из конструктивных особенностей мотального механизма; k – число оборотов пазового кулачка нитеводителя за цикл движения нити вдоль паковки (диспергатора); i_0 – общее передаточное отношение от нитеводителя к веретену (оси диспергатора).

принимать как положительный показатель качества структуры диспергатора, формируемой намоткой нитей на профильный трубчатый каркас, отражающий стабильность размеров пор. Изменение D (увеличение диаметра намотки диспергатора) мало и вызывает только незначительное изменение формы и площади поры. Однако, учитывая очень малый диаметр нити, по сравнению с диаметром намотки диспергатора $d_n \ll D$, и малую толщину диспергирующего слоя намотки (не $> 0,5$ см), можно, с большой степенью точности, принять размеры и площадь всех пор в намотке диспергатора (для конкретного вида выбранной структуры) величиной постоянной.

Однородность пор в структуре диспергатора обеспечивает высокую степень монодисперсности газа, проходящего через структуру намотки, при этом средний диаметр пузырьков газа на выходе из диспергирующего слоя в каталитический раствор можно определить по формуле:

$$d = \sqrt[3]{\frac{6\sigma d_0}{g(\rho_p - \rho_r)}}, \quad (4)$$

где d – диаметр пузырька газа, м; d_0 – условный диаметр поры (средний размер поперечника поры $d_0 = \left(\frac{a+b}{2}\right)$, м; ρ_p и ρ_r – соответственно плотности каталитического раствора и газа, кг/м³; σ – поверхностное натяжение раствора, Н/м.

Из [3] известно, что выход газа из диспергатора возможен в трех режимах: струей; отдельными пузырьками и непрерывной цепочкой пузырьков. Очевидно, что наибольшую площадь поверхности соприкосновения фаз газ-раствор будет обеспечивать третий режим выхода газа, который формируется в том случае, когда объемный расход газа, проходящего через диспергирующую перегородку, не будет превышать критической величины $V_{кр}$:

$$V_{кр} = \frac{\pi v_n}{6} \left[\frac{6d_0\sigma}{g(\rho_p - \rho_r)} \right]^{2/3} NS \text{ [м}^3/\text{с]}, \quad (5)$$

где v_n – скорость подъема пузырьков газа в растворе, м/с; N – число пор на единице площади пористой перегородки S диспергатора, 1/м²; S – площадь поверхности диспергирующего слоя намотки, м².

Для решения практических задач по очистке заданных объемов газа, пользуясь выражением (5), можно определять не только площадь намотки диспергирующей перегородки (размеры диспергатора) S , которая обеспечит пузырьковый режим барботажа неочищенного нефтяного газа в раствор катализатора, а следовательно, и высокую скорость технологического процесса его очистки от сероводорода, но и найти требуемую структуру намотки с числом пор N , соответствующим расчетным параметрам:

$$N = \frac{6V_{кр}}{\pi S v_n} \left[\frac{g(\rho_p - \rho_r)}{6d_0\sigma} \right]^{2/3}. \quad (6)$$

Соответственно площадь пористой структуры диспергатора составит:

$$S = \frac{6V_{кр}}{\pi N v_n} \left[\frac{g(\rho_p - \rho_r)}{6d_0\sigma} \right]^{2/3}, \text{ м}^2. \quad (7)$$

Согласно Пуазейлю, расход газа проходящего через пористую перегородку, можно определить по формуле:

$$Q_{сек} = \frac{\pi d_0^4 \Delta P S N}{128 \mu_r h}, \quad (8)$$

где ΔP – перепад давлений на пористой перегородке, Па; μ_r – вязкость газа, Па·с; h – толщина намотки пористой перегородки, м.

Приравняв правые части уравнений (5) и (8) и решив это выражение относительно ΔP , получим расчетную формулу для определения потери давления на пористой перегородке при критическом расходе газа $V_{кр}$:

$$\Delta P = \frac{64}{3} v_n \left[\frac{6d_0\sigma}{g(\rho_p - \rho_r)} \right]^{2/3} \frac{\mu h}{d_0^4}. \quad (9)$$

Данный расчет позволяет выбрать плотность намотки диспергатора, то есть его структуру (размер пор), которая обеспечит требуемый перепад давления. Этого можно добиться путем изменения диаметра намотки диспергатора или использованием в одной перегородке намоток различных структур (например, спиралевидной и сомкнутой).

Для решения поставленной задачи по очистке попутного нефтяного газа от сероводорода скорость гетерогенной реакции определяется формулой:

$$v = C_{H_2S(r)} C_{Fe^{+3}(ж)} k_0 e^{-\frac{E}{RT}}, \quad (10)$$

где $C_{H_2S(r)}$ – концентрация сероводорода в исходном газе; $C_{Fe^{+3}(ж)}$ – концентрация ионов железа (III) в составе катализатора;

k_0 – предэкспоненциальный множитель; E – энергия активации процесса, кДж/моль; R – универсальная газовая постоянная, Дж/моль град; T – температура протекания реакций, °К.

Технологически температура катализатора находится в пределах 293...298°К и ограничена экономическими соображениями. Концентрация сероводорода является величиной практически постоянной для данного попутного нефтяного газа (данного месторождения), однако процесс протекает на границе раздела фаз (газ-жидкость), то есть на поверхности пузырьков газа в растворе катализатора, и, следовательно, зависит от площади F гетерофазной реакции (суммарной площади поверхности пузырьков газа в растворе).

В общем виде уравнение (10) примет вид:

$$v = kC'_{H_2S(r)} C_{Fe^{+3}(ж)} F, \quad (11)$$

где $C'_{H_2S(r)}$ – концентрация сероводорода в реакторе;

$$F = Nd = \sqrt[3]{\frac{6\sigma d_0}{g(\rho_p - \rho_r)}} \frac{6V_{кр}}{\pi S v_n} \left[\frac{g(\rho_p - \rho_r)}{6d_0\sigma} \right]^{2/3}. \quad (12)$$

$$S_{пуз} = \pi \sqrt[3]{\left(\frac{6\sigma d_0}{g(\rho_p - \rho_r)} \right)^2} = 3,14 \sqrt[3]{\left(\frac{6 \cdot 0,0725 \cdot 5 \cdot 10^{-4}}{9,8(1000 - 0,1)} \right)^2} = 3,14 \sqrt[3]{(0,23 \cdot 10^{-4} \cdot 10^{-3})^2} = 2,5 \cdot 10^{-5} \cdot 10^{-6} = 25 \text{ мм}^2$$

2) Суммарная площадь поверхности пузырьков, выходящих из диспергатора (одного метра его длины):

$$F = N_{пуз} S_{пуз} = 2,5 \cdot 10^{-5} \cdot 6 \cdot 10^5 = 15 \text{ м}^2.$$

Таким образом, скорость протекания реакции пропорциональна суммарной площади поверхности газовых пузырьков, находящихся в объеме реактора, начальному диаметру пузырьков газа, выходящих из диспергатора, а также концентрации ионов Fe^{+3} в растворе катализатора, регенерация которого должна протекать постоянно.

Пример. Расчет суммарной площади поверхности пузырьков газа, выходящих из диспергатора, сформированного спиральной структурой намотки.

Исходные данные:

$v_n = 0,0082$ м/с – скорость подъема пузырька газа в водном растворе; $d_0 = 0,5$ мм = $5 \cdot 10^{-4}$ м – условный диаметр поры в структуре намотки;

$$S_0 = \pi r^2 = 3,14 \cdot \left(\frac{5 \cdot 10^{-4}}{2} \right)^2 = 19,6 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2$$
 – площадь поры; $H = 1$ м – длина рабочей поверхности аэратора; $D = 0,13$ м – диаметр намотки диспергатора; $N = \frac{\pi D H}{S_0} \cdot 0,3 =$

$$= \frac{3,14 \cdot 0,13 \cdot 1}{19,6 \cdot 10^{-8}} \cdot 0,3 = 6 \cdot 10^5$$
 штук (число пор составляет 30% от площади диспергатора); $S = \pi D H = 3,14 \cdot 0,13 \cdot 1 = 0,408 \text{ м}^2$ – площадь пористой перегородки диспергатора; $\rho_p = 10^3$ кг/м³ – плотность раствора катализатора; $\rho_r = 0,1$ кг/м³ – плотность газа; $\sigma = 0,0725$ Н/м – поверхностное натяжение раствора.

Решение.
1) Площадь поверхности пузырька газа на выходе из диспергатора:

Решение.
1) Площадь поверхности пузырька газа на выходе из диспергатора:

ВЫВОДЫ

1. Скорость протекания технологического процесса очистки попутного нефтяного газа от сероводорода в каталитическом растворе можно изменять за счет использования в вихревых аппаратах диспергаторов, формируемых на базе мотальных паковок специального назначения, путем различных структур намотки.

2. Размеры пор диспергирующих слоев, а также размеры самого диспергатора определяются структурой намотки нитей на профильный каркас и для каждого конкретного объема очищаемого газа с целью обеспечения эффективности процесса должны рассчитываться индивидуально.

3. Суммарная скорость технологического процесса выноса (осаждения) серы из состава попутного нефтяного газа пропорциональна суммарной площади поверхности газовых пузырьков в объеме реактора (объеме катализатора) и концентрации ионов F_e^{+3} в растворе катализатора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мухленов И.П., Тамбовцева В.Д., Горштейн А.Е. Основы химической технологии. – М.: Высшая школа, 1968.

2. Гордеев В.А., Зайцев В.П., Панин И.Н. О замкнутых и сомкнутых крестовых намотках. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1987, №2.

3. Павутницкий В.В., Павутницкая С.В., Галиуллина И.И. Применение пен в текстильной и легкой промышленности: Учебное пособие. – Ульяновск: Ульяновский государственный технический университет, 1999.

Рекомендована кафедрой ткачества МГТУ им. А.Н. Косыгина. Поступила 03.06.11.