

О ДИСПЕРГАЦИИ ГАЗОВ НА ТЕКСТИЛЬНЫХ ПОРИСТЫХ ПЕРЕГОРОДКАХ

ON THE GASES DISPERSION ON TEXTILE POROUS PARTITIONS

А.Е. ЦИМБАЛЮК, И.Н. ПАНИН, А.В. АНЦИФЕРОВ, Д.С. МАЛЕЕВ
A.E. TSIMBALJUK, I.N. PANIN, A.V. ANTSIFEROV, D.S. MALEEV

(Ульяновский государственный технический университет)
(Ulyanovsk State Technical University)
E-mail: panteks@yandex.ru

Эффективность очистки газов, протекающая в аппаратах с вихревыми потоками, во многом зависит от времени контакта агентов газ–раствор–твердое тело. Для увеличения времени и площади контакта агентов авторами разработаны теоретические положения диспергации газов с помощью текстильных пористых перегородок. Определены условия формирования пузырьковой массы газа в зависимости от размеров пор в текстильном материале, выполняющем роль диспергатора.

Efficiency of the gases fettling, proceeding in the apparatus with a vortex flow, depends on the contact time of gas - solution - firm body agents in many respects. For increasing of time and the area of agents' contacts the authors have developed theoretical conditions of gases dispersion by means of textile porous partitions. Forming conditions of gas bubble mass depending on the pores sizes in the textile material which plays a role of a dispersant are defined herein.

Ключевые слова: текстильные пористые перегородки, диспергация газа, размер пор, вязкость каталитического раствора.

Keywords: textile porous partitions, gas dispersion, pores size, viscosity of a catalytic solution.

Физико-химические процессы в гетерогенных системах, в том числе и при газоочистке, очистке сточных вод и т.д., протекающие в аппаратах, оснащенных устройствами, создающими вихревой газовый поток, зависят от времени и площади контакта агентов в системах газ–жидкость–твердое тело. Поэтому с целью повышения эффективности процессов разделения фаз при очистке газов разрабатываются различные способы и устройства, позволяющие увеличить время взаимодействия агентов.

Одним из таких способов, при очистке попутного нефтяного газа от сероводорода, является его диспергация в водном каталитическом растворе.

Большое многообразие диспергаторов не дает однозначного ответа на вопрос об его оптимальной конструкции, то есть самого механизма и его пористой структуры, которые позволяли бы обеспечить требуемые параметры контакта взаимодействующих агентов газ – каталитический водный раствор. Это связано, в первую очередь, с отсутствием ответа на вопрос: "Какая же структура диспергирующей перегородки обеспечивает оптимальные параметры взаимодействия агентов?" При всей своей кажущейся простоте структура диспергатора должна обеспечивать:

– формирование массы пузырьков газа минимального размера, причем выходящие из пористой перегородки пузырьки должны быть одинакового размера, что

обеспечит равномерность процессов взаимодействия агентов во всем объеме каталитического раствора;

– большую площадь контакта взаимодействующих агентов, что обеспечивается за счет площади поверхности пузырьков газа, выходящих из диспергирующей перегородки;

– дополнительное перемешивание (барботаж) каталитического раствора с целью повышения интенсивности протекающих процессов взаимодействия агентов газ – жидкость – твердое тело;

– сопротивление диспергирующего слоя прохождению газового потока должно быть минимальным, в то же время структура всей системы диспергатора должна обеспечивать равномерное распределение газового потока по всей площади его поверхности;

– прочную конструкцию, которая при отключении подачи газа и заполнении водным раствором катализатора внутреннего объема пор, при последующей подаче газа на очистку, исключала бы вероятность "пробоя" – разрыва диспергирующего слоя вследствие возможного гидроудара;

– поры диспергатора не должны забиваться осадком – мелкодисперсными частицами твердой фазы (серой), то есть приводить к закупорке пор;

– длительную работу (не менее одного года) без замен, а также удобство в обслуживании.

Для решения поставленных задач рассмотрим гидродинамику барботажа газа в жидкость со свободной поверхностью.

Как отмечено в [1], зависимость между размерами пузырьков газа и размерами пор в структуре диспергирующей перегородки определяется расходом газа, протекающего через перегородку в единицу времени.

Действительно, при прохождении газа через пористую перегородку в жидкость процесс гидродинамики может проходить в трех режимах:

– пузырьковым, когда выход газа из диспергатора происходит отдельными друг от друга пузырьками;

– граничном с пузырьковым режимом, при котором пузырьки газа движутся в виде неразрывной цепочки, соприкасаясь друг с другом;

– струйном, когда выход газа из диспергирующей перегородки происходит струей (без образования пузырьковой массы газа), что возможно при образовании "пробоя" (разрушения) диспергирующей перегородки.

Уровень границ пузырькового режима определяется критическим расходом газа, проходящего через пористую перегородку ($V_{кр}$, м³/с), то есть определяется структурой перегородки – ее пористостью и проницаемостью, а она, в свою очередь, зависит от размеров пор, их формы и т.д. Для текстильных материалов, применяемых в качестве диспергаторов, структура определяется взаимным расположением нитей в перегородке, структурой пор волокна, из которого изготовлена нить, и межволоконным пространством в самой нити. Для диспергаторов, создаваемых на базе мотальных паковок специального назначения, структура определяется видом намотки (сомкнутая, замкнутая, спиралевидная, застилистая и т.д.) [2].

Очевидно, что только в пузырьковом режиме наблюдается образование сферических пузырьков газа, площадь поверхности которых (и форма) увеличивается по мере подъема к урезу водного раствора, увеличивая тем самым общую площадь контакта агентов газ–раствор–твердое тело. Рассмотрим этот процесс более подробно.

Соотношение между диаметром всплывающего пузырька газа d_n и диаметром поры d_o (размером поры, эквивалентным диаметру пузырька с равной площадью) можно определить из равенства подъемной

(архимедовой) силы $\frac{\pi d_n^3}{6} g(\rho_{раств} - \rho_{газ} \dots)$ и

(ньютоновой) силы сопротивления отрыву пузырька от поверхности перегородки, зависящей от поверхностного натяжения $R = \pi d_o \sigma$, где σ – поверхностное натяжение жидкости (водного раствора, Н/м).

Тогда:

$$d_n = \sqrt[3]{\frac{6d_o\sigma}{g(\rho_{\text{раств}} - \rho_{\text{газ}})}}, \quad (1)$$

где d_n – диаметр пузырька газа, м; d_o – диаметр (эквивалентный) поры, м; $\rho_{\text{раств}}$ и $\rho_{\text{газ}}$ – соответственно плотности раствора и газа, (кг/м³).

Формула (1) показывает, что для получения однородной пузырьковой массы газа в каталитическом растворе с размерами пузырьков ($d_n=80\div 150$ мкм) необходимо применять пористые перегородки диспергаторов с размерами пор на несколько по-

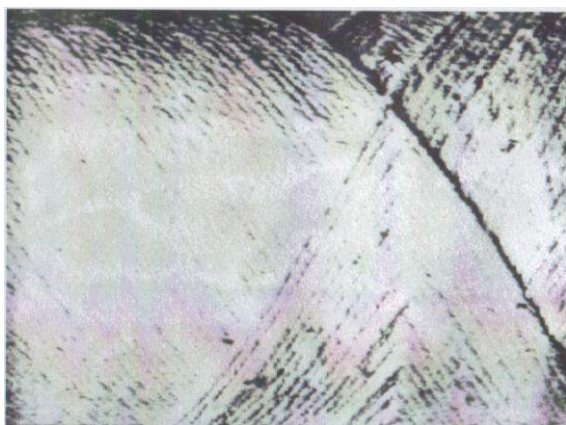


Рис. 1

На рис.1 показано фото сомкнутой намотки нитей, а на рис. 2 – фото спиралевидной структуры намотки диспергатора.

Критический проход газа через диспергатор в каталитический раствор, при котором будет происходить формирование пузырьковой фазы и не будет струйного потока газа, можно определить по формуле:

$$V_{\text{кр}} = \frac{\pi V_{\text{II}}}{6} \left[\frac{6d_o\sigma}{g(\rho_{\text{раств}} - \rho_{\text{газ}})} \right]^{2/3} NS, \quad (2)$$

где $V_{\text{кр}}$ – критический проход газа через диспергатор, м³/с; V_{II} – скорость подъема пузырьков газа в растворе, м/с; N – число пор на единицу площади пористой перегородки диспергатора; S – площадь пористой перегородки диспергатора, м².

рядков меньше образующихся пузырьков, то есть $d_o \approx 0,04\div 2,0$ мкм. Такими размерами обладают сомкнутые намотки полипропиленовых нитей, сформированных из мультифиламентных волокон. С целью создания дополнительного барботажа каталитического раствора можно использовать спиралевидную структуру намотки в качестве диспергирующей перегородки, у которой поры расположены по спиралам Архимеда, а выход пузырьковой массы газа под давлением осуществляется по касательной к поверхности диспергатора, что и обеспечивает дополнительный барботаж раствора.



Рис. 2

Из уравнения (2) видно, что критический проход газа должен быть пропорционален скорости подъема пузырьков в растворе, а также числу пор на единицу площади диспергатора. При условии $R_{\text{ен}} < 2$ скорость всплытия одиночного пузырька газа может быть определена по формуле Стокса:

$$V_{\text{II}} = \frac{d_{\text{II}}^2 (\rho_{\text{раств}} - \rho_{\text{газ}}) g}{18\mu_{\text{раств}}}, \quad (3)$$

где $\mu_{\text{раств}}$ – вязкость раствора, Па·с.

Из формулы (3) видим, что скорость всплытия пузырька газа ("время жизни" пузырька), когда он, контактируя с раствором катализатора, участвует в реакции выноса сероводорода из состава попутного

нефтяного газа и осаждения серы в виде коллоидных частиц, зависит от его диаметра и вязкости раствора.

При исследовании диспергаторов, формируемых из различных текстильных

материалов пористой структуры, для определения потери давления газа на пористой перегородке и в растворе можно воспользоваться уравнением:

$$\Delta P = \rho_{\text{раст}} q h_{\text{раст}} + \frac{64}{3} V_{\Pi} \left[\frac{6 d_o \sigma}{q(\rho_{\text{раст}} - \rho_{\text{газ}})} \right]^{2/3} \frac{\mu_r h}{d_o^4}, \quad (4)$$

где d_o – средний эквивалентный диаметр поры, м; μ_r – вязкость газа, Па·с; σ – поверхностное натяжение, Н/м; $h_{\text{раст}}$ – толщина слоя раствора над поверхностью пористой перегородки диспергатора, м; h – толщина пористой перегородки диспергатора, м.

В целом при расчете потерь давления газа в системе очистки необходимо учитывать потери давления газа при его подаче по входному трубопроводу.

ВЫВОДЫ

1. Анализ процесса диспергации попутного нефтяного газа на текстильных пористых перегородках показывает, что определяющими критериями процесса являются структура пористой перегородки (вид волокнистого материала), размер пор и вязкость каталитического раствора.

2. Скорость каталитического процесса выноса из попутного нефтяного газа сероводорода определяется размерами пузырь-

ков и "временем их жизни" в растворе катализатора.

3. Для повышения эффективности протекания процессов взаимодействия агентов (газа и раствора катализатора) целесообразно использовать диспергаторы спиралевидной структуры намотки, которые обеспечивают дополнительный барботаж раствора и увеличивают интенсивность процессов взаимодействия агентов в реакторе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Павутницкий В.В. Основные положения теории пенообразования: Учебное пособие. – Димитровград: ДИТУД, 2007.

Панин И.Н. О бобинах спиралевидной структуры намотки // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1993, №4.

Рекомендована научно-техническим советом. Поступила 13.01.11.