

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОНТАКТНЫХ ТАРЕЛОК ЗАКРУЧЕННЫМИ ГАЗОЖИДКОСТНЫМИ ПОТОКАМИ

Садырбаева А.С., Байботаева С.Е., Базат К.М.

РГП на ПХВ «Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауезова», (160012, Казахстан, г.Шымкент, пр-т Тауке хана 5), e-mail: a.sadyrbaeva@mail.ru

В настоящее время актуальной задачей нефтегазового комплекса Республики является задача полной утилизации попутного газа. Проблема утилизации попутного нефтяного газа состоит в том, что все крупные разрабатываемые нефтегазовые месторождения республики имеют в составе добываемой нефти растворенный газ с повышенным содержанием сероводорода и других сернистых соединений. Процессы подготовки попутного нефтяного газа в значительной степени обуславливается применением современного высокоэффективного технологического оборудования. Эффективность его работы определяется эффективностью работы его внутренних элементов, так называемых, массообменных контактных устройств, наиболее распространенными из которых являются массообменные тарелки.

Существующие сегодня массообменные тарелки обладают рядом существенных недостатков: узкий диапазон эффективной работы, недостаточная развиваемая массообменная поверхность, и как следствие низкая эффективность, высокое гидравлическое сопротивление, высокая металлоемкость.

В этой связи, разработка высокоэффективной и высокопроизводительной массообменной тарелки является крайне актуальной задачей для нефтяной и газовой промышленности.

Установка более эффективных и производительных контактных устройств в новых колонных аппаратах, позволит снизить их массово-габаритные характеристики, за счет снижения диаметра, высоты и толщины стенки колонн.

Интенсификация массообменных процессов основана на фундаментальных законах классической гидродинамики, механики жидкости и газа, физической химии и термодинамики. И к таким средствам интенсификации можно отнести - проведение процесса массообмена в поле центробежных сил, закрученных потоков газовой и жидкой фазы, воздействие вихревых и кавитационных эффектов. В этих условиях наблюдается равномерное распределение взаимодействующих потоков, повышение эффективности перемешивания, приводящее к увеличению удельной поверхности контакта фаз и созданию гидродинамической развитой межфазной поверхности.

Ключевые слова: гидродинамика; контактная тарелка; сопротивление; газожидкостной поток; коэффициент сопротивления; турбулентность.

RESEARCH OF HYDRODYNAMIC CHARACTERISTICS OF CONTACT PLATES BY THE TWIRLED GAS-LIQUID STREAMS

Sadyrbayeva A.S., Baybotayeva S.E., Bazat K.M.

RSE on the RB "South-Kazakhstan State University named after M.Auezova" (160012, Kazakhstan, Shymkent, pr Tauke Khan, 5), e-mail: a.sadyrbaeva@mail.ru

Now an actual problem of an oil and gas complex of the Republic is the problem of full utilization of associated gas. The problem of utilization of associated oil gas consists that all large-scale developed oil and gas deposits of the republic have as a part of extracted oil the dissolved gas with the raised content of hydrogen sulfide and other sulphurous connections. Processes of preparation of associated oil gas it is substantially caused by use of modern highly effective processing equipment. Efficiency of its work is defined by overall performance of its internal elements, the so-called, mass-exchanged contact devices the most widespread of which are mass-exchanged plates.

Mass-exchanged plates existing today possess a number of essential shortcomings: narrow range of the effective work, insufficient developed mass-exchanged surface, and as a result low efficiency, high hydraulic resistance, high metal consumption.

In this regard, development of a highly effective and high-performance mass-exchanged plate is the extremely actual task for the oil and gas industry.

Installation of more effective and productive contact devices in new columned devices, will allow to lower their mass and dimensional characteristics, due to decrease in diameter, height and thickness of a wall of columns.

The intensification of mass-exchanged processes is based on fundamental laws of classical hydrodynamics, mechanics of liquid and gas, physical chemistry and thermodynamics. And it is possible to carry to such means of an intensification - carrying out process of a mass exchange in the field of the centrifugal forces, the twirled streams of a gas and liquid phase, influence of vortex and cavitation effects. In these conditions uniform distribution of interacting streams, increase of efficiency of the hashing, bringing to increase in a specific surface of contact of phases and creation of the hydrodynamic developed interphase surface is observed.

Keywords: hydrodynamics; contact plate; resistance; gas-liquid stream; resistance coefficient; turbulence.

Гидродинамика аппаратов с закрученными газожидкостными потоками несколько отличается от гидродинамики традиционных насадочных и тарельчатых аппаратов.

Исследованиями ряда авторов [1-4] установлено, что в зависимости от расхода газа наблюдаются три основных режима течения газожидкостной смеси на ступени: барботажный; кольцевой; пленочный. При малых расходах газа (пара) наблюдается барботажный режим течения, характеризующийся перемещением одиночных пузырей в жидкости, форма которых зависит от геометрических размеров канала. С увеличением расхода газа наблюдается струйное течение, переходящее затем в пенный режим, при котором отсутствует граница между жидкостью и струями газа, образуется сплошная подвижная пена.

При достижении критической скорости газа в каналах (u_k) возникает кольцевой режим, сопровождающийся вращением газо-жидкостного слоя с полостью, визуальной фиксируемой при диаметре у основания 20 мм.

При наличии всей жидкости на стенке ступени в виде вращающегося слоя толщиной 5 ÷ 15 мм наблюдается пленочный режим течения.

Линейная скорость вращения газожидкостного потока во многом определяет его структуру и характеристики. Ее измерение, проведенное с помощью помещенного в двухфазный вращающийся поток лопаточного анемометра, показало [4], что скорость вращения слоя (w_c) линейно зависит от скорости газа в щелях завихрителя. С увеличением толщины слоя значение w_c уменьшается, что обусловлено увеличением трения потока о торцевые поверхности камеры.

Для получения развитой межфазной поверхности при низкой скорости газа в каналах, и, с невысоким гидравлическим сопротивлением, наибольший интерес представляет кольцевой режим течения. При кольцевом режиме течения жидкость из центральной части колонны за счет силы инерции выдавливается к периферии с образованием вращающегося газожидкостного слоя в виде цилиндра с начальным внутренним диаметром 15-20 мм. По мере роста скорости газа происходит уменьшение толщины слоя и увеличение его высоты.

При достижении скорости газа равной u_n (которая также характеризует начало оголения щелей для прохода газа) наблюдается пленочный режим течения с отдельным течением газа и жидкости. При допущениях, что вращающийся газожидкостный слой представляет собой твердое цилиндрическое тело, а силы инерции и давления равномерно распределены по высоте потока, условие равновесия сил в момент образования кольцевого режима можно представить в виде:

$$m \omega^2 R = \rho g H (1 - \varphi) S, \quad (1)$$

где: m - масса жидкости, кг; ω - угловая скорость вращения, об/мин; R - радиус вращения, м; H - высота столба газожидкостной смеси, м; S - внутренняя поверхность вращающегося газожидкостного слоя, м²; g - ускорение свободного падения, м/сек²; ρ - плотность жидкости, кг/м³; φ - газосодержание.

Тогда из (1) несложно получить:

$$\omega = \sqrt{\frac{gH(1-\varphi)}{\sigma R}}, \quad (2)$$

где: σ - толщина газожидкостного слоя.

Согласно (2), скорость газа, при которой наступает кольцевой режим течения, зависит от объема жидкости на ступени, газосодержания и величины радиуса окружности, на которой размещены щели.

Увеличение R и φ приводит к снижению критической скорости газа u_k , а рост объема жидкости на ступени к ее повышению.

При предположении, что начальное вращение жидкости обеспечивается касательными напряжениями газа о жидкость, соприкасающуюся с поверхностью щелей, для прохода газа можно записать общеизвестную зависимость:

$$F_t R \omega = N, \quad (3)$$

где: F_t - сила, обусловленная трением газа о жидкость; N - мощность.

Исходя из (3), выражение для угловой скорости газа, которая обеспечивает переход в кольцевой режим, примет вид:

$$\omega = \frac{N}{\tau \cdot f \cdot R}, \quad (4)$$

где: τ - касательное напряжение; R - радиус размещения щелей на тарелке; $f = \sigma_o \cdot l \cdot n$ - площадь щелей для выхода газа; σ_o - зазор; l - длина щели; n - количество щелей.

Согласно (4) критическая скорость газа зависит от радиуса R , размеров и количества щелей.

Как видно, с увеличением площади сечения каналов для прохода газа (коэффициента крутки $f \cdot F$) переход в кольцевой режим течения осуществляется при меньшей скорости газа.

Экспериментальные значения критической скорости газа от конструктивных параметров тарелки с многолопастным осевым завихрителем, представленные на рисунке 1, подтверждают теоретическое описание (1)-(4) [4,5].

Для исследуемых тарелок с повышением коэффициента крутки происходит снижение критической скорости газа, что обусловлено увеличением поверхности контакта газа с жидкостью.

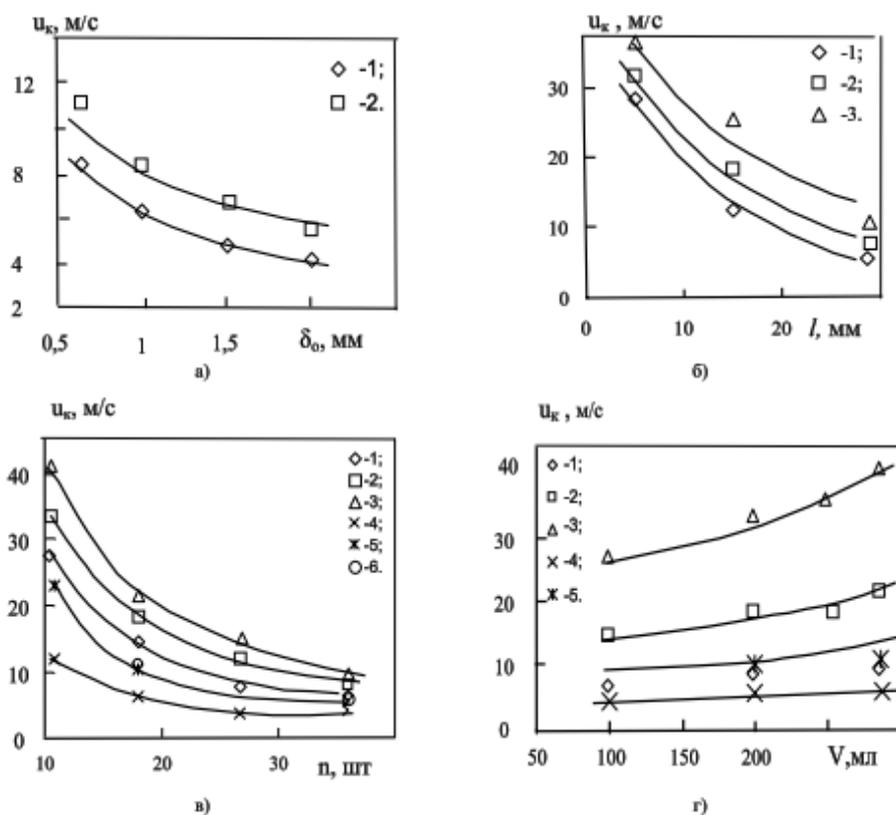
С ростом объема жидкости на ступени начало кольцевого режима достигается при большей скорости газа в каналах при этом $u_k \sim (H/D)^{0,7}$.

Гидравлические потери в вихревом барботажном аппарате являются суммой потерь в "сухой" решетке и потерь в двухфазном слое, обусловленных его "весом".

При увеличении толщины слоя сопротивление растет, что связано с ростом составляющей, связанной с "весом" газожидкостного слоя.

Поскольку вклад каждой из составляющих сопротивления трактуется в различных работах по-разному, были выполнены эксперименты по измерению статического давления в двух точках — в щели завихрителя, около выхода потока в вихревую камеру (p_s) и на боковой поверхности вихревой камеры (p_L).

В результате измерений обнаружено, что в узкой зоне после выхода газа из щелей завихрителя имеет место скачкообразное (примерно в 1,5 раза) уменьшение статического давления, что, по-видимому, связано с затратами на диспергирование газа.



Экспериментальные точки: а) 1- $n = 36$ шт.; 2-18; б) 1- $V=100$ мл, 2-200, 3-300 при $n=36$, $\sigma_0=1$ мл.; в) 1- $\sigma_0=1$ мл. $V=100$ мл, 2-1,200; 3-1,300, 4-2,100, 5-2,200 мл, 6-2,300; г) 1- $\sigma_0=1$ мл. $n = 36$ шт., 2-1,18, 3- 1,9, 4-2,36, 5-2.

Рисунок 1 - Зависимость критической скорости газа от технологических и конструктивных параметров плоской тарелки с осевым завихрителем

С увеличением скорости газа и толщины слоя значения p_s и PL возрастают, однако разность этих давлений практически не зависит от толщины слоя.

Сравнение значений статического давления на боковой поверхности завихрителя с центробежным "весом" газожидкостного слоя для $H_{сл} = 30$ мм показало, что при малых расходах газа имеет место практически полное совпадение расчетов и экспериментов, а при увеличении расхода расчетные данные превышают экспериментальные (примерно на 20%).

Общее сопротивление ΔP контактной ступени без учета влияния крутки газа ниже расположенной тарелки можно представить в виде:

$$\Delta P = \Delta P_c + \Delta P_m \quad (5)$$

Сопротивление сухой тарелки ΔP_c :

$$\Delta P_c = \xi \frac{\rho_g u^2}{2} \quad (6)$$

и орошаемой ΔP_m :

$$\Delta P_m = \rho g H (1 - \varphi) + \Delta P_\lambda \quad (7)$$

где: ξ - коэффициент сопротивления сухой ступени; u - среднерасходная скорость газа на выходе из каналов; ρ_g - плотность газа; ΔP_λ - потери напора, вызванные касательными напряжениями на межфазной поверхности; H - высота газожидкостного слоя; φ - газосодержание.

Для исследуемых ступеней коэффициент сопротивления ξ , возрастает с увеличением количества каналов завихрителя и их ширины и при $Re > 1500$ слабо изменяется с увеличением скорости газа.

Влияние ширины канала на коэффициент сопротивления связано с изменением масштаба турбулентности (размера вихрей). Увеличение ξ , с повышением количества каналов обусловлено турбулентностью потока и их совместным влиянием на характер распределения вихрей.

Как установлено экспериментально, коэффициент сопротивления сухой тангенциальной тарелки $\xi \sim a^{0,75}$, что согласуется с данными работы [6] и $\xi \sim R_3^{2,5}$.

Конструктивные параметры тарелки a и R определяют величину крутящего момента, вызванного вращательным движением газа, который с увеличением радиуса вращения и уменьшением угла наклона каналов возрастает, что приводит к дроблению вихрей и снижению их масштаба, а следовательно, и к уменьшению коэффициента сопротивления контактной ступени.

Исследования работы [6] центробежных контактных устройств показало, что для расчета основных гидродинамических характеристик ступени необходимы параметры толщины H и высоты δ вращающего слоя газожидкостной смеси.

Характерные значения H и δ от скорости газа в щели при разных факторах крутки представлены на рисунках 2, 3.

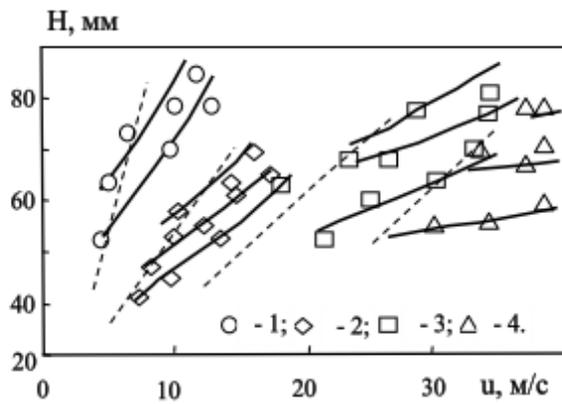
Высота слоя жидкости в начале кольцевого режима практически одинакова для тарелок с разным фактором крутки и зависит от объема жидкости на тарелке.

С увеличением скорости газа в щелях происходит рост H и снижение δ .

Для оценки высоты вращающегося газожидкостного слоя получено уравнение в виде:

$$H = C u^{0,46}, \quad (8)$$

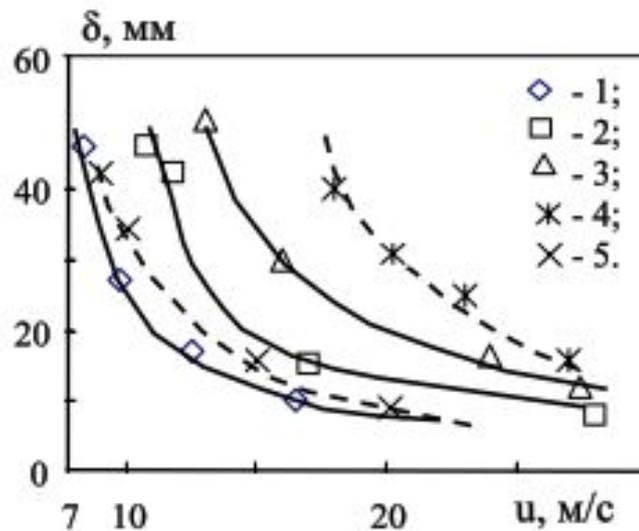
где: C - константа в уравнении (8) определяется из начальных условий при $u = u_k$; H - высота столба жидкости.



Точки (1-4): 1- $f/F=0,09$; 2- $0,045$; 3- $0,022$; 4- $0,011$. Пунктирная линия - начало кольцевого режима.

Рисунок 2 - Зависимость высоты вращающегося газожидкостного слоя от скорости газа в щели и для плоской тарелки с осевым завихрителем при $D=110$ мм и $V=100, 200, 300$ мл.

Для системы «воздух-вода» начало кольцевого режима визуально наблюдается при диаметре внутренней полости газожидкостного слоя 15-20 мм. Толщину газожидкостного слоя несложно рассчитать при наличии величин H и газосодержания ϕ .



Точки (1-4): 1- $f/F=0,031$; 2- $0,021$; 3- $0,015$;

Точки (4-5) - плоская тарелка с осевым многолопастным завихрителем: 4 - $f/F=0,031$; 5 - $0,011$.

Рисунок 3 - Зависимость толщины газожидкостного слоя на ступени от скорости газа в канале для плоской тарелки с осевым завихрителем при $D=110$ мм, $t = 10^\circ$, $V=200$ мл.

Межфазная поверхность при кольцевом вращении газожидкостного потока определяется газосодержанием и диаметром пузырьков газа.

В начале кольцевого режима газосодержание в жидкости максимально, а затем, с повышением скорости газа, снижается вследствие уменьшения размеров пузырьков и вымывания их из газожидкостного слоя.

С увеличением объема жидкости на контактной ступени величина газосодержания понижается.

Для расчета величины газосодержания получено соотношение в виде:

$$\varphi = C u_{\Gamma}^{-0,8} (\sigma_{ж} / \sigma_{в})^{0,25}, \quad (9)$$

где: C – константа, определяется из начальных условий при $u = u_{к}$ и по величине φ по экспериментальным данным.

Список используемой литературы

1. Александров И.А. Ректификационные и абсорбционные аппараты. Методы расчета и основы конструирования. – М.: Химия, 1978. 278 с.
2. Алтаев М.А. Определение параметров струй и капель образующихся при истечении жидкости из плоского диска. Вестник Ташкентского Государственного технического университета №3, 2003. С. 113-116.
3. Балабеков О.С., Алтаев М.А., Мейрбеков А.Т., Закономерности асимметричного растекания жидкостной струй по поверхности плоского отражательного диска форсунок газоочистных аппаратов Вестник НАН РК №3, 2003. С. 71-75.
4. Иванов А.Е., Беренгартен М.Г., Ключенкова М.И. Гидродинамика и массообмен в комбинированном абсорбционном аппарате, совмещающем барботажную и пленочную зоны контакта фаз / Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2010. №8 – с. 3-6.
5. Иванов А.Е., Беренгартен М.Г., Ключенкова М.И. Гидродинамика и массообмен в комбинированном абсорбционном аппарате, совмещающем барботажную и пленочную зоны контакта фаз: Труды X Международного Симпозиума молодых ученых, аспирантов и студентов 30 ноября – 1 декабря 2010г. «Инженерные и технологические исследования для устойчивого развития», - М., 2010. с. 66-77.
6. Сугак Е.В., Войнов Н.А., Николаев Н.А. Очистка газовых выбросов в аппаратах с интенсивными гидродинамическими режимами. – Казань, РИЦ «Школа», 1999. 224 с.