

И. Н. Мадышев, О. С. Дмитриева, А. В. Дмитриев

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ НАУЧНОЙ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЖИДКОСТИ И ГАЗА В БАРБОТАЖНО-ПЛЕНОЧНОМ АППАРАТЕ***Ключевые слова: барботаж, экспериментальная установка, пленка, взаимодействие.*

В статье предложен барботажно-пленочный аппарат и экспериментальная установка для исследования взаимодействующих фаз. Показано, что барботирование обеспечивает высокую удельную поверхность контакта между газом и жидкостью, примерно постоянный размер газовых пузырьков, высокую скорость процесса тепло- и массопередачи.

Keywords: barbotage, experimental apparatus, the film, the interaction.

The paper developed are barbotage-film device and the experimental apparatus for the study of interacting phases. It is shown that barbotage flow provides the high specific interphase between gas and liquid, approximately permanent gas-bubble size, and high heat and mass transfer rates.

В насадочных аппаратах потоки газа и жидкости непрерывно контактируют между собой, обмениваясь веществом и энергией. Эффективность массопередачи является одной из основных характеристик насадки, определяет степень разделения, которую можно достичь используя данную насадку, и зависит от удельной поверхности насадки, размеров насадочных тел, высоты слоя насадки, гидродинамического режима движения потоков контактирующих фаз, а также от физико-химических свойств компонентов разделяемой смеси. При проектировании насадочных абсорберов после выбора типа насадки, скорости газа и плотности орошения переходят к определению объема и высоты насадки. Расчет объема насадки производят на основе объемных коэффициентов массопередачи. Зная объем насадки и площадь сечения абсорбера, определяют необходимую для заданного распределения высоту насадки, которую также можно найти, исходя из высоты единицы переноса, без определения её объема [1].

Однако обеспечивая интенсивное взаимодействие фаз, подвижная насадка имеет ряд недостатков: большое количество энергии потока газа расходуется на её поддержание в псевдоожиженном режиме, что существенно повышает гидравлическое сопротивление. Существует проблема улавливания уносимых капель. Элементы насадки, соударяясь друг с другом и со стенками аппарата, разрушаются, происходит загрязнение продуктами износа. Сравнение насадок по удельной поверхности и свободному объему представлено в работе [2]. Работы [3, 4] посвящены исследованию контактных устройств новых конструкций.

Известно, что при осуществлении процессов взаимодействия между газовой и жидкой фазами одним из важнейших параметров является площадь поверхности контакта фаз. Чем больше поверхность контакта, тем эффективнее протекает газо-жидкостное взаимодействие. Одним из наиболее распространенных способов осуществления газо-жидкостного контакта является барботаж. В ходе барботажа газ, при помощи диспергирующего устройства, распределяется в

жидкости в виде пузырьков, которые и формируют поверхность контакта. Величина этой поверхности непосредственно зависит от размеров получаемых пузырьков – чем меньший диаметр они имеют, тем больше величина поверхности раздела фаз, при одинаковом газосодержании в барботажном слое. Таким образом, уменьшение размеров пузырьков является одним из способов повышения эффективности процессов газожидкостного контакта. В настоящее время в химической промышленности барботаж газа главным образом осуществляется при использовании тарелок различной конструкции. Применение таких устройств приводит к образованию достаточно крупных пузырьков, что обуславливает значительные размеры аппаратов и их высокую стоимость. Альтернативой этим методам может являться процесс мембранного диспергирования газа. В данном процессе газовая фаза продавливается через пористую мембрану внутрь жидкой фазы, которая может быть подвижна или неподвижна. Образующиеся при этом пузырьки имеют значительно меньшие размеры. Распределение пузырьков по размерам зависит от многих параметров: распределения размеров пор диспергирующего устройства, режима движения пузырьков в барботажном слое и физико-химических свойств газа и жидкости [5].

Исследованию гидродинамики барботажных процессов посвящены работы [6, 7]. Для осуществления прямого контакта между газом и жидкостью, как правило, используются барботажные аппараты, имеющие ряд недостатков. Во-первых, скорость движения газа без уноса барботируемой жидкости не может превышать 1-2 м/с, во-вторых, при движении пузырьков газа в жидкости происходит их быстрое слияние, что ведет к увеличению гидравлического сопротивления и снижению тепло- и массообмена. Высота современных барботажных аппаратов достаточно большая, а само оборудование весьма металлоемкое. Дальнейшее повышение производительности барботажных аппаратов требует принципиально нового подхода к организации контакта между газом и жидкостью. Одним из перспективных

методов является закрутка потока, которая позволяет повысить устойчивость барботажа при более высокой скорости движения газа, увеличить межфазную поверхность и интенсифицировать процессы переноса теплоты и массы. Использование принципа закрутки газожидкостных потоков позволяет создать интенсивные контактные аппараты и значительно снизить их материалоемкость [8].

Для решения отмеченных выше недостатков авторами статьи разработан пленочно-барботажный аппарат. Для исследования взаимодействия в нём жидкости и газа была спроектирована научная экспериментальная установка, схема которой представлена на рисунках 1 и 2. Эксперимент проводился на системе воздух-вода.

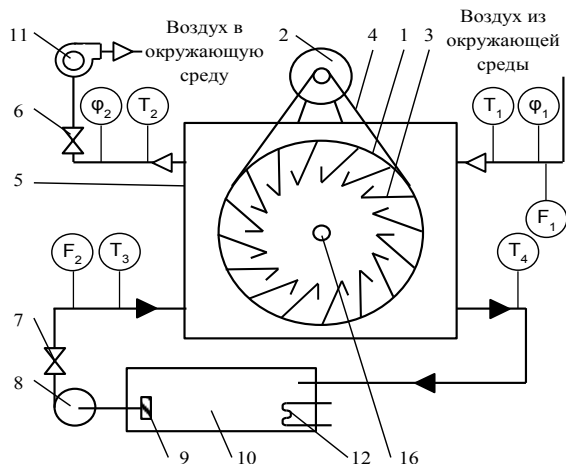


Рис. 1 – Схема экспериментальной установки (вид сбоку): 1 – ротор; 2 – двигатель; 3 – интенсифицирующие конструктивные элементы; 4 – ремень; 5 – корпус; 6 – запорная арматура на линии отвода воздуха; 7 – запорная арматура на линии подачи воды; 8 – насос; 9 – жидкостной фильтр; 10 – емкость; 11 – вентилятор; 12 – нагревательный элемент; 13 – устройство для введения газового индикатора; 14 – устройство для введения жидкого индикатора; 15 – видеокамера; 16 – вал

Вода подается из емкости 10 в нижнюю часть корпуса 5 насосом 8. Необходимая для научных исследований начальная температура воды создается и поддерживается нагревательным элементом 12. Вал 16 ротора 1 приводится во вращение от вала двигателя 2 с помощью ремня 4. В корпусе 5 установлен вращающийся ротор 1, состоящий из интенсифицирующих конструктивных элементов 3, которые предназначены для увеличения поверхности контакта фаз и обеспечения сепарации. В процессе проведения экспериментальных исследований возможно попадание твердых частиц в систему воздух-вода из окружающей среды. Поэтому для исключения их попадания в насос 8 устанавливается жидкостной фильтр 9. Необходимый расход воды создается и регулируется запорной арматурой 7.

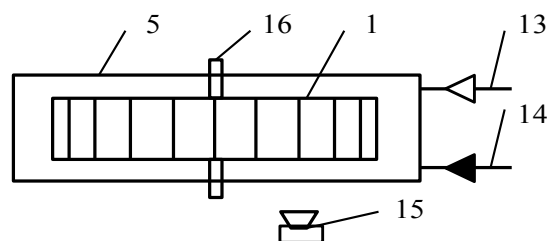


Рис. 2 – Схема экспериментальной установки (вид сверху): 1 – ротор; 5 – корпус; 13 – устройство для введения газового индикатора; 14 – устройство для введения жидкого индикатора; 15 – видеокамера; 16 – вал

Вентилятор 11 служит для создания разрежения в корпусе 5 и дальнейшего перемещения воздуха в окружающую среду. Требуемый расход воздуха создается и регулируется запорной арматурой 6.

Устройство для введения жидкого индикатора 14 состоит из тонкого канала для ввода индикатора или капель и шприца. Устройство для введения газового индикатора 13 аналогично по конструкции устройству для введения жидкого индикатора 14, однако тонкий канал имеет больший диаметр. Жидкие или газовые индикаторы вводятся для исследования обратного перемешивания. Поскольку корпус 5 и ротор 1 изготовлены из прозрачного материала, введенные индикаторы можно отслеживать видеокамерой 15, а по изменению цвета воды или воздуха, возможно оценить изменение их концентрации. При введении капель жидкости через иглу исследуются траектории капель и сепарационные возможности интенсифицирующих конструктивных элементов 3.

При проведении экспериментов определяются и задаются следующие параметры: расход жидкости при входе в корпус измеряется ротаметром (F_1); расход воздуха при входе в корпус определяется с помощью трубы Вентури (F_2); температуры воздуха при входе в корпус (T_1) и выходе из него (T_2) измерялись цифровым термометром; температуры воды при входе в корпус (T_3) и выходе из него (T_4) измерялись цифровым термометром; относительная влажность воздуха при входе в корпус (Φ_1) и выходе из него (Φ_2) измерялись цифровым гигрометром.

Следует отметить, что спроектированная экспериментальная установка не нуждается в канализации и постоянной подпитки водой.

Таким образом, разработанный барботажно-пленочный аппарат позволяет создавать высокую скорость всплытия пузырьков и интенсивное перемешивание, постоянное обновление поверхности контакта фаз увеличивает эффективность тепло- и массопередачи.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ.

Литература

1. Е.В. Полиенова, А.Ю. Вальдберг, *Химическое и нефтегазовое машиностроение*, 2, 12-16 (2011)

2. А.В. Дмитриев, О.С. Макушева, К.В. Дмитриева, А.Н. Николаев, *Химическое и нефтегазовое машиностроение*, 5, 19-21 (2011)
3. О.С. Макушева, А.В. Дмитриев, А.Н. Николаев, *Вестник Казанского технологического университета*, 13, 10, 648-649 (2010)
4. Г.Х. Гумерова, О.С. Макушева, А.В. Дмитриев, *Вестник Казанского технологического университета*, 14, 3, 35-37 (2011)
5. В.В. Акимов, Н.А. Мамченков, А.М. Трушин, Е.А. Дмитриев, Г.Г. Каграманов, П.С. Судиловский, *Успехи в химии и химической технологии*, 23, 2 (95), 53-56 (2009)
6. В.Б. Охотский, *Теоретические основы химической технологии*, 41, 3, 347-352 (2007)
7. В.А. Будник, К.А. Куцуев, Р.Р. Муратшин, *Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт*, 3, 23-26 (2012)
8. И.И. Борисов, А.А. Халатов, *Доповіді Національної академії наук України*, 3, 84-89 (2008)

© **И. Н. Мадышев** – асп. КНИТУ; **О. С. Дмитриева** – ст. препод. каф. ПАХТ НХТИ КНИТУ, romanova_rg@mail.ru;
А. В. Дмитриев – д.т.н., зав каф. МАХП НХТИ КНИТУ.