

А.А. Абишев, С.Х. Загидуллин, В.Л. Долганов

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ГАЗОЖИДКОСТНОГО СЛОЯ В БАРБОТАЖНОЙ КОЛОННЕ С ПЕРФОРИРОВАННОЙ ПЕРЕГОРОДКОЙ

На укрупненной модельной установке барботажной колонны с секционирующей перфорированной перегородкой исследованы локальные и осредненные характеристики газожидкостного слоя. Исследованы условия образования зоны с повышенным газосодержанием и определены ее основные параметры.

Секционированные барботажные колонны являются эффективными аппаратами для осуществления газожидкостных реакций и находят широкое применение в химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности. Их основным преимуществом перед полыми колоннами является более высокое газосодержание и, как следствие, развитая поверхность контакта фаз при одинаковых расходах газа и жидкости.

Ранее было установлено, что наиболее развитая поверхность контакта фаз (ПКФ) в аппаратах данного типа образуется непосредственно под перфорированной перегородкой [1–3]. Показано также, что величина ПКФ в значительной мере зависит от расходов газа и жидкости [1, 2, 4]. Так, например, при высоких приведенных скоростях жидкости под перегородкой образуется зона затопленной пены, обладающая развитой поверхностью контакта фаз. При низких скоростях жидкости под перегородкой образуется зона с высоким газосодержанием – своего рода газовая «подушка», поверхность контакта фаз в которой резко уменьшается.

Результаты ранее проведенных нами исследований [2] хорошо согласуются с работами по исследованию газлифтных реакторов [5], а также течения газожидкостных потоков в вертикальных трубах [6, 7]. В них показано, что значительное снижение удельной поверхности контакта фаз происходит после достижения критического газосодержания (ε_c), которое составляет $0,5\text{--}0,55 \text{ м}^3/\text{м}^3$.

По мнению Ван Батена и Кришны [8], именно эти значения ε_c соответствуют образованию неэффективного слоя с чрезмерно высоким газосодержанием под секционирующей перфорированной перегородкой.

Настоящая работа посвящена экспериментальному изучению характеристик газожидкостного слоя под перфорированной перегородкой в секционированной барботажной колонне.

Опыты проводили на укрупненной стендовой установке (рис. 1), основным элементом которой являлась стеклянная колонна внутренним диаметром $D = 0,2$ м и высотой $H = 2,3$ м, разделенная на две секции одинаковой высоты. Между секциями устанавливали съемные перфорированные перегородки с долей свободного сечения S , равной 0,03; 0,05 и 0,12, и круглыми отверстиями диаметром d , равным 5 и 10 мм. В качестве модельных веществ использовали воду и сжатый воздух, расход которых контролировали ротаметрами, погрешность измерений не превышала $\pm 2,5$ %. Приведенную скорость газа в пересчете на свободное

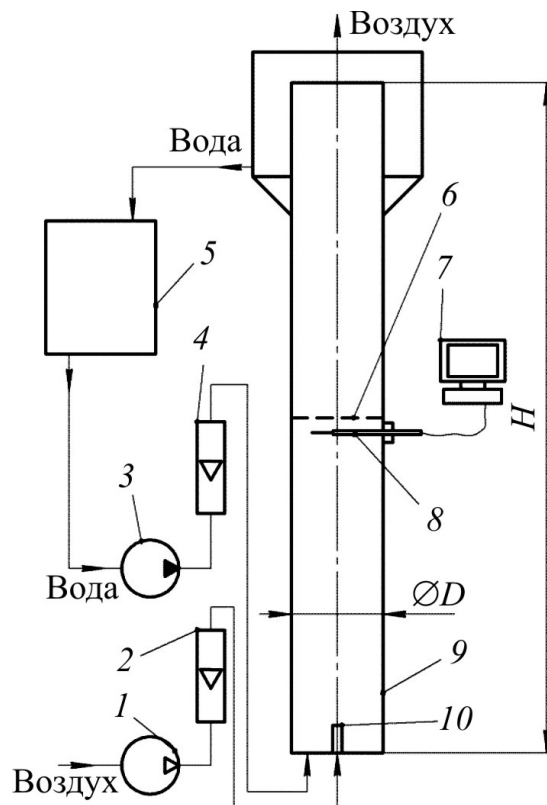


Рис. 1. Схема лабораторной установки: 1 – компрессор; 2, 4 – ротаметры; 3 – насос; 5 – напорный бак; 6 – перфорированная перегородка; 7 – персональный компьютер с аналого-цифровым преобразователем; 8 – измерительный зонд; 9 – корпус колонны; 10 – диспергатор

сечение колонны (v_G) изменяли в диапазоне от $5 \cdot 10^{-2}$ до $9 \cdot 10^{-2}$ м/с, приведенную скорость жидкости (v_L) варьировали от 0 до $3 \cdot 10^{-2}$ м/с. Газ в колонну вводили при помощи точечного барботера в виде патрубка со щелевидными отверстиями на боковой поверхности.

Локальные характеристики газожидкостного слоя определяли электроконтактным стереометрическим методом с использованием двух резистивных датчиков [9]. Измерения производили под перфорированной перегородкой в сечениях, отстоящих от нее на расстояния от 10 до 200 мм.

Полученные значения осредняли двойным интегрированием в полярных координатах [10]:

$$\bar{\varepsilon} = \frac{1}{\pi R^2} \int_0^R dr \int_0^{2\pi} r \varepsilon(r, \theta) d\theta,$$

где ε – локальное газосодержание, $\text{м}^3/\text{м}^3$; $\bar{\varepsilon}$ – газосодержание, осредненное по сечению, $\text{м}^3/\text{м}^3$; θ – азимутальный угол положения измерительного датчика, рад; r – полярный радиус положения измерительного датчика, м; R – радиус аппарата, м.

Осредненные результаты измерений для перфорированной перегородки с диаметром отверстий 5 мм и свободным сечением 3 % при $v_G = 0,06$ м/с представлены на рис. 2. Из этого рисунка следует, что с удалением точек измерений от перегородки газосодержание уменьшается до величин, соответствующих полой барботажной колонне. Экспериментальные исследования позволяют сделать вывод о размерах зоны с повышенным газосодержанием. На рис. 2 видно, что размеры этой зоны не превышают диаметра колонны. Подача жидкости прямо-током с газом способствует снижению газосодержания.

Визуальные наблюдения показывают, что зона с высоким газосодержанием при этом значительно уменьшается или совсем исчезает, а при скоростях жидкости $8 \cdot 10^{-3}$ м/с и более критическое значение газосодержания не достигается.

Расстояние от сечения, в котором $\bar{\varepsilon} = \varepsilon_C$, до секционирующей перегородки, в соответствии с работой [8], нами было принято за высоту слоя с высоким газосодержанием H_C . Как и следовало ожидать, с увеличением приведенной скорости газа величина H_C монотонно возрастает (рис. 3) независимо от диаметра отверстий решетки. Причем для перегородок с меньшим свободным сечением этот эффект выражен сильнее. Полученные нами результаты хорошо согласуются с данными авторов [11].

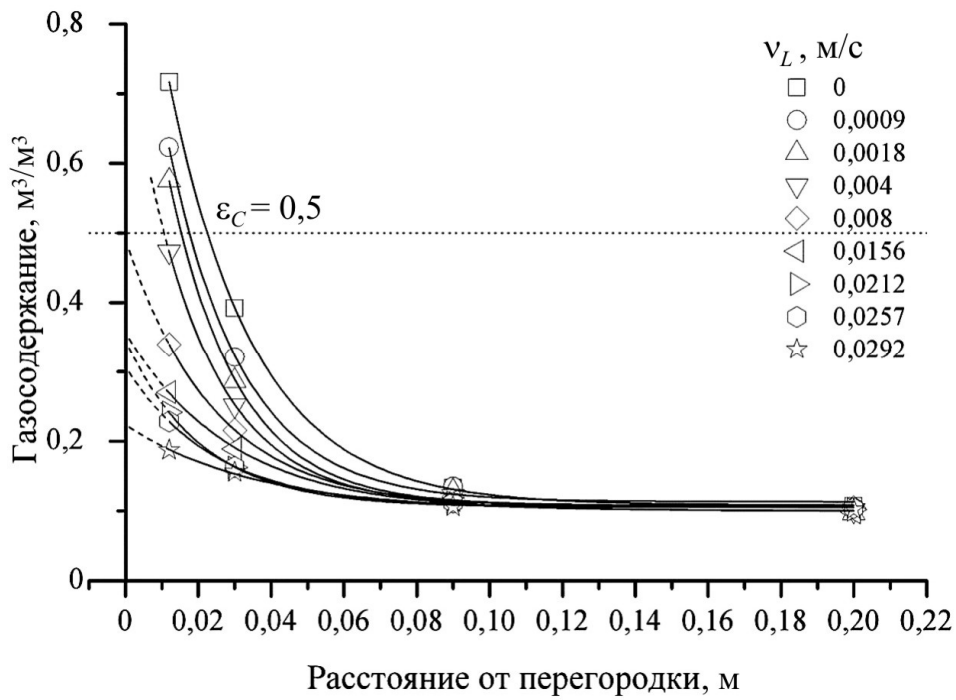


Рис. 2. Зависимость величины осредненного газосодержания от расстояния до перегородки для $v_G = 0,06$ м/с (доля свободного сечения перегородки 0,03; диаметр отверстий 5 мм)

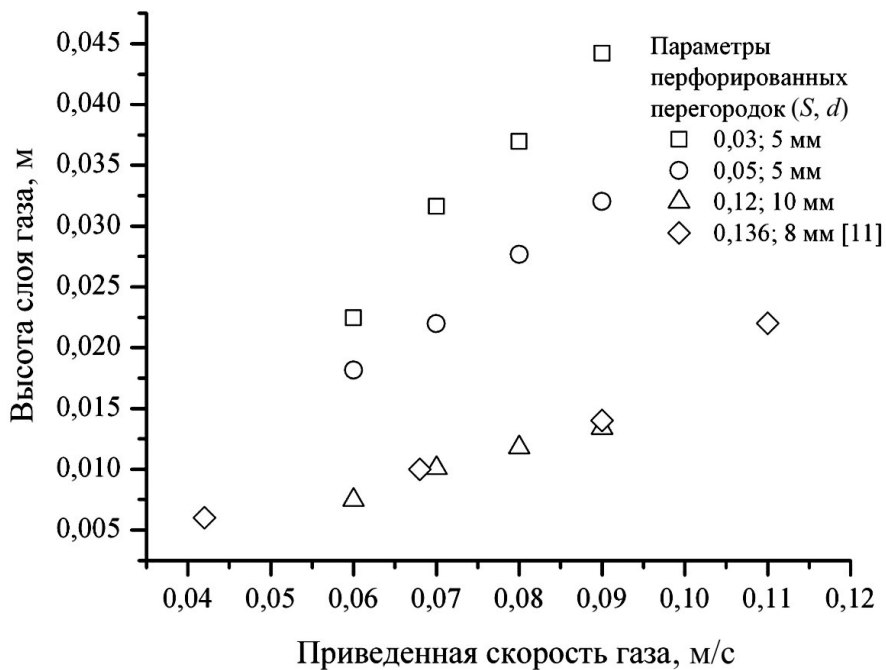


Рис. 3. Зависимость высоты слоя газа под перфорированной перегородкой от приведенной скорости газа при отсутствии подачи жидкости в колонну

При подаче жидкости в низ колонны происходит заметное уменьшение зоны с высоким газосодержанием под перфорированной перегородкой. Опытные данные зависимости высоты этой зоны от приведенной скорости жидкости для $v_G = 0,09$ м/с показаны на рис. 4.

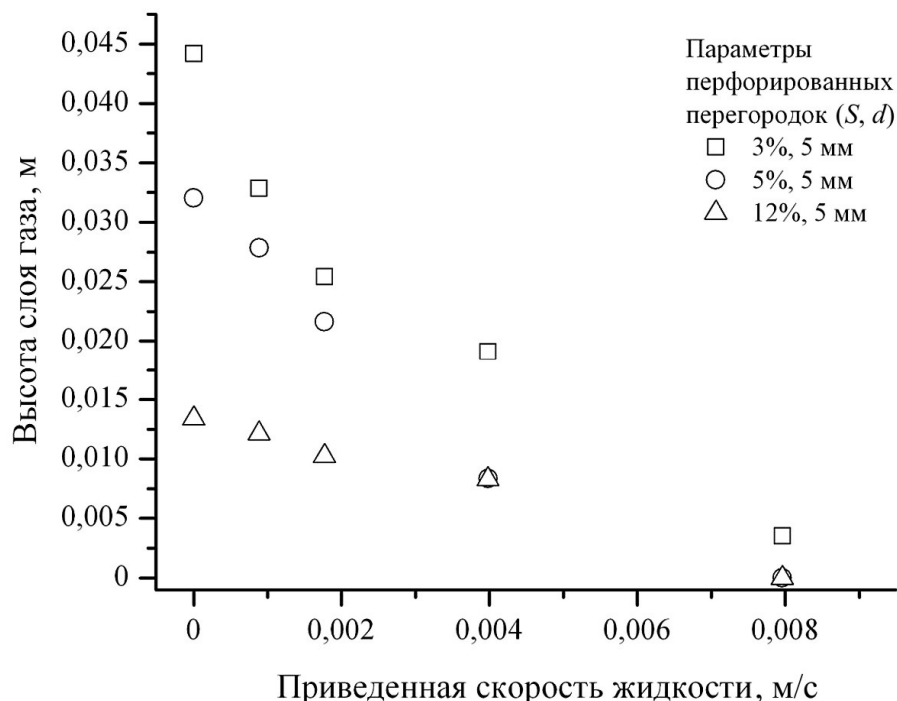


Рис. 4. Зависимость высоты газового слоя под перфорированной перегородкой от приведенной скорости жидкости для $v_G = 0,09$ м/с

Уменьшение высоты зоны с высоким газосодержанием обусловлено снижением доли газа в общем объеме газожидкостного слоя под перегородкой.

Таким образом, проведенные исследования показали, что структура барботажного слоя под перфорированной перегородкой в секционированном колонном аппарате зависит от свободного сечения перегородки, скоростей движения газа и жидкости и не зависит от диаметра отверстий перегородки. Размеры зоны с чрезмерно высоким газосодержанием могут быть сведены практически к нулю либо за счет постоянной подачи в низ колонны жидкости, либо за счет увеличения свободного сечения перегородки.

В первом случае мы получаем дополнительное преимущество за счет устранения обратного тока жидкости [3], однако второй вариант предполагает значительное снижение энергетических затрат благодаря уменьшению гидравлического сопротивления аппарата.

Полученные результаты могут быть полезными при разработке и проектировании секционированных барботажных колонн.

Список литературы

1. Винтер А.А., Дорожкина Л.Н., Городецкий И.Я. Определение поверхности контакта фаз в прямоточных барботажных реакторах, секционированных ситчатыми тарелками // Химическая промышленность. – 1971. – № 8. – С. 57–60.
2. Абишев А.А., Долганов В.Л., Загидуллин С.Х. Влияние секционирования на структуру барботажного слоя в аппаратах с высоким слоем жидкости // Вестник ПГТУ. Химическая технология и биотехнология. – Пермь, 2011. – № 12. – С. 103–112.
3. Загидуллин С.Х., Абишев А.А., Долганов В.Л. Изучение газосодержания и перепада давления в секционированной барботажной колонне непрерывного действия // Изв. Самар. науч. центра РАН. – 2011. – № 4 (4). – С. 1160–1163.
4. Gas absorption in a multistage gas-liquid spouted vessel / M. Nishikawa, K. Shiino, T. Kayama [et al.] // Journal of chemical engineering of Japan. – 1985. – Vol. 18, № 6. – P. 496–501.
5. Долганов В.Л., Шенфельд Б.Е. Исследование поверхности контакта фаз и газосодержания в газлифтном аппарате // Современные машины и аппараты химических производств: тез. докл. III Всесоюз. науч. конф. – Ташкент, 1983. – Ч. IV. – С. 123–124.
6. Taitel Y., Bornea D., Dukler A.E. Modeling flow pattern transitions for steady upward gas-liquid flow in vertical tubes // AIChE Journal. – 1980. – Vol. 26. – P. 345–354.
7. Brauner N., Barnea D. Slug/churn transition in upward gas-liquid flow // Chemical Engineering Science. – 1986. – Vol. 41. – P. 159–163.
8. Van Baten J.M., Krishna R. Scale up studies on partitioned bubble column reactors with the aid of CFD simulations // Catalysis Today. – 2003. – Vol. 79–80. – P. 219–227.
9. Современные методы определения газосодержания и поверхности контакта фаз в двухфазных газожидкостных системах / А.А. Абишев, В.Л. Долганов, С.Х. Загидуллин, В.В. Красоткин // Вестник ПГТУ. Химическая технология и биотехнология. – Пермь, 2009. – № 9. – P. 243–253.
10. Gas holdup in bubble columns at elevated pressure via computed tomography / A. Kemoun, C.O. Boon, P. Gupta [et al.] // International journal of multiphase flow. – 2001. – Vol. 27. – P. 929–946.
11. Effect of Sieve Plate Structure on Gas Cap Height and Local Gas Holdup in a Multistage Bubble Column Reactor / Q. Ling, J. Hai-bo, Y. Suo-he [et al.] // The Chinese Journal of Process Engineering. – 2011. – Vol. 11, № 1. – P. 9–14.

Получено 20.06.2012