

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

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет

**ВЛИЯНИЕ СЕКЦИОНИРОВАНИЯ НА СТРУКТУРУ
БАРБОТАЖНОГО СЛОЯ В АППАРАТАХ
С ВЫСОКИМ СЛОЕМ ЖИДКОСТИ**

На укрупненной стеновой установке исследована структура барботажного слоя в колонном аппарате с секционирующей перфорированной тарелкой. Показано, что в определенных условиях под тарелкой образуется зона затопленной активной пены. Определено влияние скорости газа и жидкости на величину газосодержания и удельной поверхности контакта фаз в секционированном газожидкостном реакторе.

В настоящее время для интенсификации процессов, протекающих в барботажных пустотелых колоннах стали применяться различные варианты секционирования газожидкостного слоя с использованием одной или нескольких перфорированных тарелок [1–7]. Указывается, что подбором соответствующих параметров – диаметра отверстий, «живого» сечения тарелки, расположения перфорации – удается добиться практически полного перераспределения потока газа по сечению колонны [8, 9]. Кроме того, за счет регулирования величины перетока жидкости между секциями создается возможность управления режимом перемешивания в аппарате (переход от режима полного перемешивания к режиму, близкому к полному вытеснению) [10]. Однако влияние секционирования колонн беспровальными тарелками при прямотоке фаз на гидродинамическую обстановку в барботажных аппаратах еще недостаточно изучено, а имеющиеся литературные данные зачастую противоречивы. В частности, отсутствуют сведения о механизме влияния скорости жидкости на газосодержание и величину межфазной поверхности.

В настоящей работе приводятся данные по изучению структуры газожидкостного слоя в колонных аппаратах с высокими слоями жидкости с целью выяснения механизма протекающих гидродинамических

процессов, в частности влияние секционирования, а также линейных скоростей газа и жидкости на величину интегрального и локального газосодержания и удельной поверхности контакта фаз.

В качестве модельных веществ использовали воду и воздух, так как ранее была показана схожесть структур барботажных слоев различных газожидкостных систем [8, 11–14].

Для уменьшения влияния пристенных эффектов на параметры барботажа [13] эксперименты проводили на укрупненной стеновой установке (рис. 1), которая включает в себя стеклянную колонну 1 внутренним диаметром $D = 0,2$ м и высотой $H = 2,4$ м. Расход воздуха контролировали диафрагмой 6 (точность измерения $\pm 1,5\%$), расход воды –

объемным счетчиком 4 (точность измерения $\pm 1\%$). Общее газосодержание в колонне измеряли методом отсечки и по пьезометрическому уровню, расхождение между двумя способами составило не более 5 %, что соответствует погрешности, указанной в литературе [15].

Локальные характеристики газожидкостного слоя изучали электроконтактным методом [16]. Регистрационная система состояла из измерительного зонда 9 и первичного прибора 10 марки ИГС-2, подключенного к цифровому осциллографу и персональному компьютеру. Приведенная скорость газа на свободное сечение колонны была близкой к значениям для промышленных барботажных колонн и составляла от $5,34 \cdot 10^{-2}$ до $8,45 \cdot 10^{-2}$ м/с, скорость жидкости варьировали от 0 до $2,92 \cdot 10^{-2}$ м/с.

В ходе экспериментов во всех случаях использовали секционирующую тарелку, подобную тем, что применяются в окислительных колоннах производства

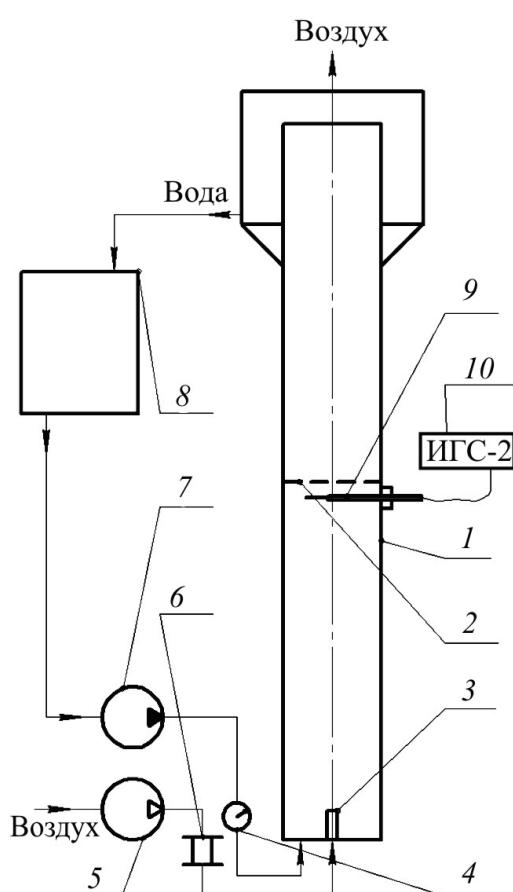


Рис. 1. Схема лабораторной установки: 1 – корпус колонны; 2 – секционирующая тарелка; 3 – диспергатор; 4 – объемный счетчик; 5 – компрессор; 6 – диафрагма; 7 – насос; 8 – напорный бак; 9 – измерительный зонд; 10 – прибор ИГС-2

нефтяных битумов [7, 8, 17]. Диаметр отверстий тарелки составлял 5 мм, свободное сечение – 3 %. Такие характеристики позволяют практически полностью исключить обратное перемешивание жидкости [10].

На рис. 2 представлена зависимость интегральных значений газосодержания от приведенных скоростей воздуха w_r , для полого аппарата и аппарата, секционированного тарелкой. Из экспериментальных данных следует, что во всем исследуемом диапазоне при увеличении расхода газа газосодержание увеличивается. Полученные значения удовлетворительно согласуются с результатами других авторов [18].

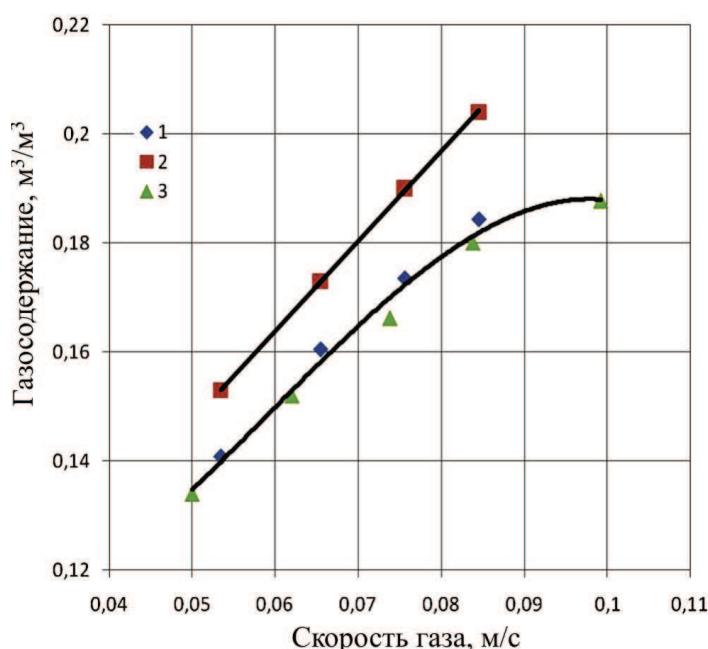


Рис. 2. Экспериментальные значения интегрального газосодержания в барботажной колонне: 1, 2 – данные авторов для полой и секционированной колонны, соответственно; 3 – литературные данные для полой колонны [18]

Установлено, что при использовании секционирующей тарелки интегральное газосодержание по сравнению с полой колонной увеличивается в среднем на 8–11 %. Причем для больших скоростей газа эта разница выше. Как показывают визуальные наблюдения, этот эффект вызван накоплением и ростом под секционирующей тарелкой слоя высокотурбулизированной динамической пены [8].

Для исследования гидродинамических характеристик двухфазного потока под секционирующей тарелкой был выполнен ряд экспериментов по определению локального газосодержания и удельной по-

верхности контакта фаз. Эти параметры измеряли в поперечных сечениях, находящихся на расстоянии $0,15D$, $0,5D$ и $1D$ от перегородки.

Результаты экспериментов показали, что количество газа, задерживаемое в барботажном слое, возрастает по мере приближения к секционирующей тарелке и достигает своего максимума в непосредственной близости от нее (рис. 3). Газосодержание же остальной части барботажного слоя остается неизменным. При этом отмеченный эффект от секционирования тем выше, чем выше доля пенного слоя под перегородкой в общем объеме газожидкостной смеси.

Кроме того, отмечается выравнивание эпюор газосодержания по поперечному сечению колонны, что также является свидетельством формирования активного пенного слоя. Значения удельной поверхности контакта фаз по мере приближения к оси колонны снижаются (рис. 4), что говорит о существовании в центре аппарата пузырей большего диаметра, чем на периферии.

Как показывает опыт эксплуатации барботажных колонн, формирование газожидкостных структур с избыточным содержанием газа может привести к негативным последствиям, например при производстве нефтебитумов происходит локальное неконтролируемое увеличение температуры, приводящее к преждевременному закоксовыванию внутренних устройств и снижению качества продукции [5].

Из анализа литературы следует, что интегральное газосодержание в секционированной барботажной колонне уменьшается по мере увеличения подачи жидкости [19]. Однако механизм такого влияния соотношения расходов фаз пока не изучен. Для его определения при измерении локальных гидродинамических характеристик вблизи секционирующей перегородки изменения расходы жидкости. При исследовании локальных гидродинамических характеристик полученные значения расхода жидкости усредняли по сечению с использованием формулы [20]

$$X_{\text{сеч}} = \frac{1}{S} \int_0^{2\pi} \left[\int_0^r X(\rho, \theta) \rho d\rho \right] d\theta,$$

где $X_{\text{сеч}}$ – интегральная характеристика по сечению аппарата; X – локальная характеристика; S – площадь поперечного сечения, м^2 ; ρ – полярный радиус точки проведения измерений, м; θ – полярный угол точки проведения измерений, рад.

Установлено, что снижение газосодержания по мере увеличения скорости подъема жидкости происходит только в пенном слое, прилегающем к секционирующей тарелке (рис. 5).

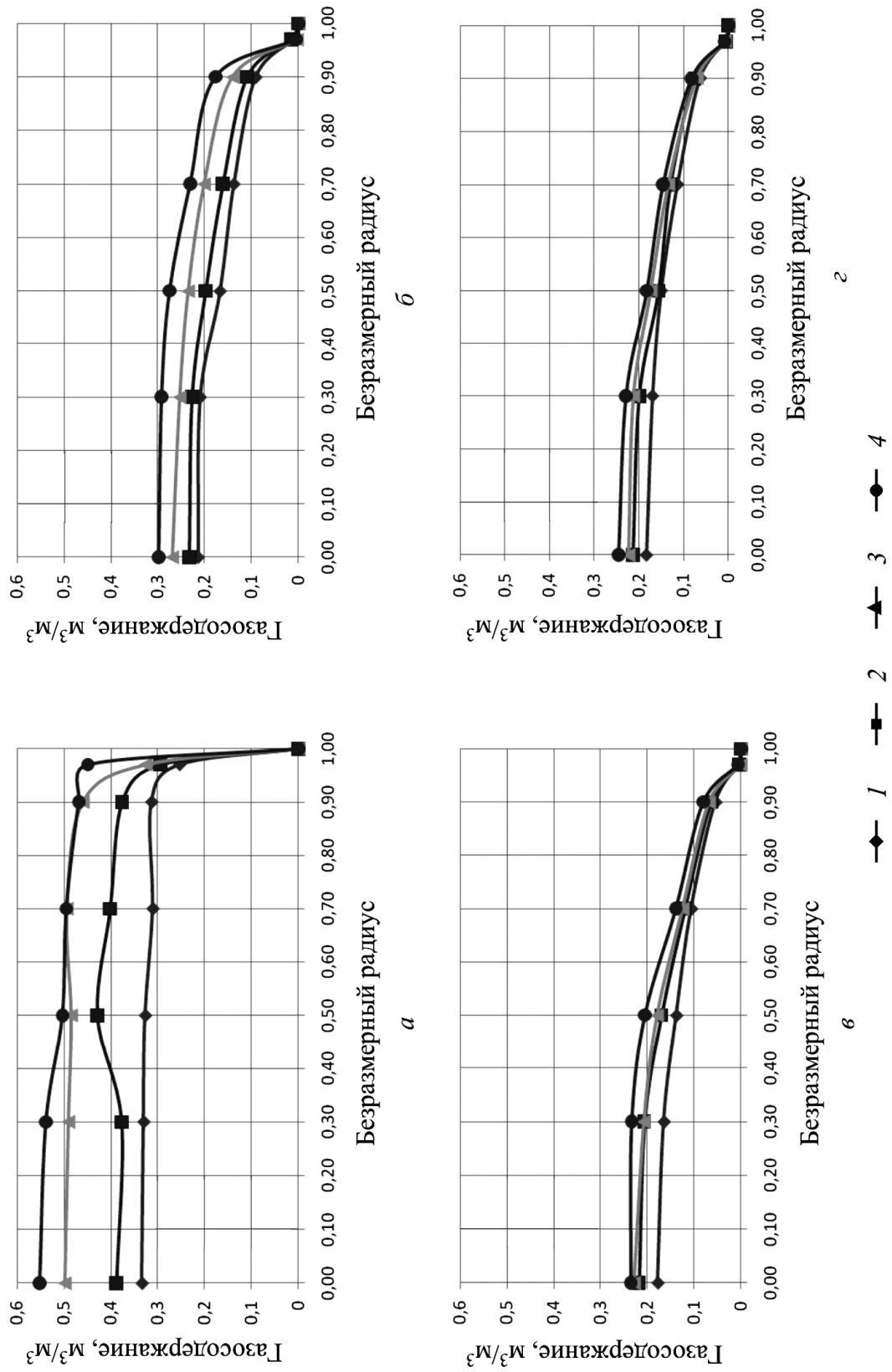


Рис. 3. Эпюры газосодержания по сечению колонны: а, б, 6 – на расстоянии 0,15D, 0,5D, 1D от перегородки соответственно; 2 – для полой колонны; I – скорость газа на свободное сечение $5,34 \cdot 10^{-2}$ м/с; 2 – $6,54 \cdot 10^{-2}$ м/с; 3 – $7,56 \cdot 10^{-2}$ м/с; 4 – $8,45 \cdot 10^{-2}$ м/с

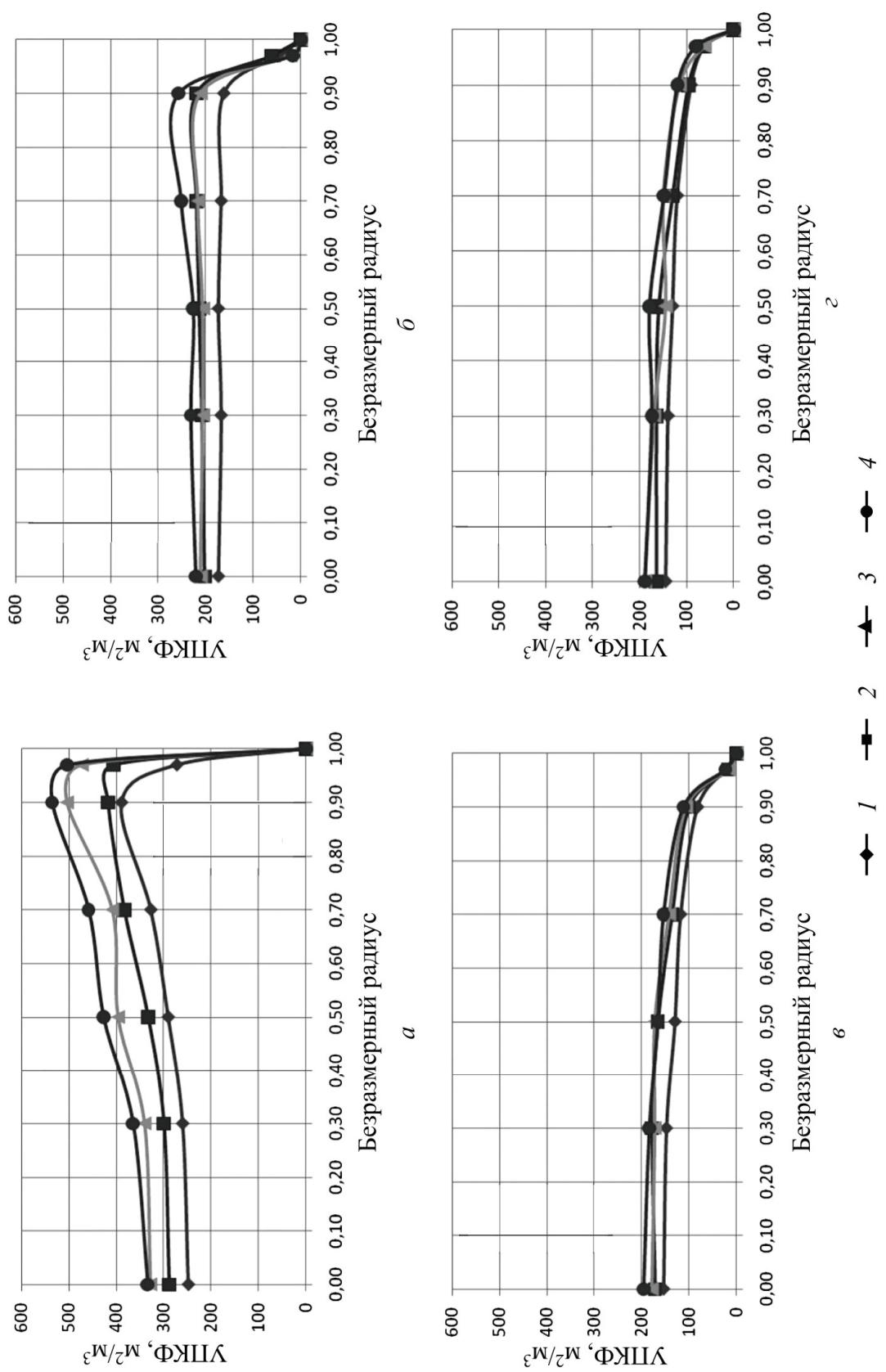


Рис. 4. Эпюры удельной поверхности контакта фаз (УПКФ): *a*, *b*, *v* – на расстоянии $0,15D$, $0,5D$, ID от перегородки соответственно; *2* – для полной колонны; *1* – скорость газа на свободное сечение $5,34 \cdot 10^2 \text{ м/c}$; *2* – $6,54 \cdot 10^2 \text{ м/c}$; *3* – $7,56 \cdot 10^2 \text{ м/c}$; *4* – $8,45 \cdot 10^2 \text{ м/c}$

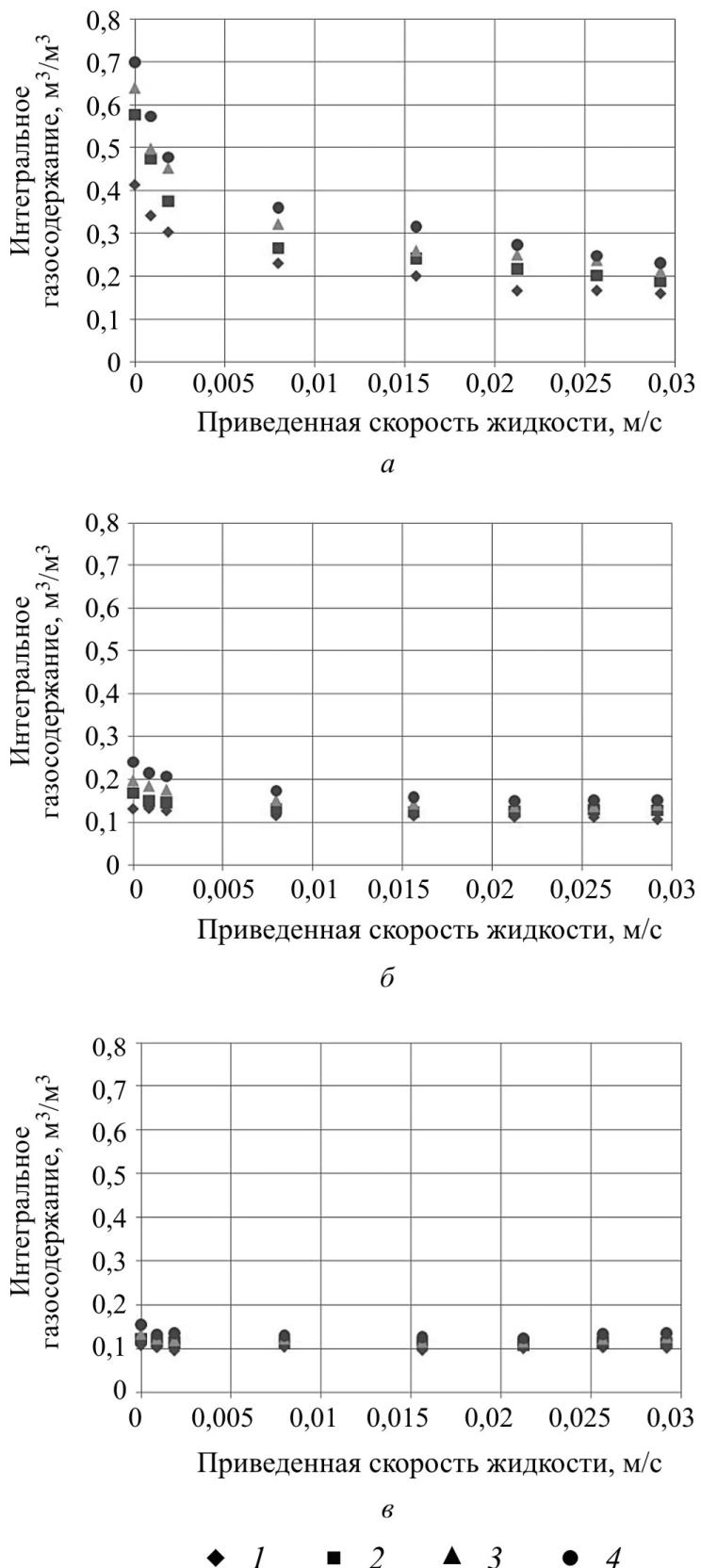


Рис. 5. Зависимость интегрального газосодержания по сечению колонны от приведенной скорости жидкости: *a*, *b*, *c* – на расстоянии 0,15D, 0,5D, 1D от перегородки соответственно; 1 – скорость газа на свободное сечение $5,34 \cdot 10^{-2}$ м/с; 2 – $6,54 \cdot 10^{-2}$ м/с; 3 – $7,56 \cdot 10^{-2}$ м/с; 4 – $8,45 \cdot 10^{-2}$ м/с

Это может быть связано с перераспределением фаз по поперечному сечению колонны. В полой барботажной колонне газ преимущественно движется в центральной части аппарата, а основное количество жидкости находится на периферии. Возникает циркуляция жидкости по высоте слоя [9, 11, 21], причем скорости циркуляционных течений определяются расходом газа. При относительно равномерном распределении сред, как это имеет место вблизи перегородки, потоки газа и жидкости движутся одноравномерно по всему сечению и инерция движения дисперсионной среды передается дисперсной фазе. Снижение газосодержания можно объяснить быстрой диссимиляцией газожидкостной структуры.

Влияние газосодержания на величину УПКФ показано на рис. 6. До определенного предела газосодержания ($0,48\text{--}0,5 \text{ м}^3/\text{м}^3$) межфазная поверхность непрерывно возрастает, а затем довольно резко уменьшается. Снижение величины УПКФ вызвано инверсией фаз в объеме газожидкостного слоя. Это хорошо согласуется с результатами ранее проведенных исследований [22, 23].

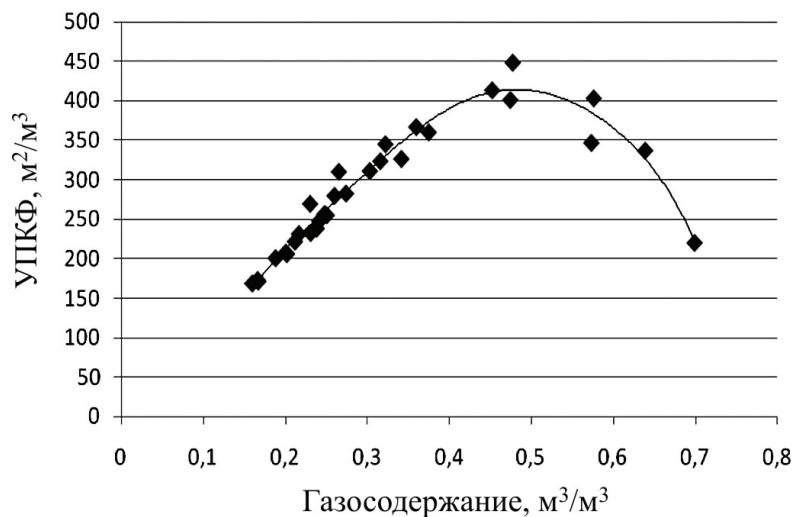


Рис. 6. Зависимость интегральной УПКФ от интегрального газосодержания

Анализ полученных нами зависимостей показывает, что секционирование колонного аппарата беспровальной перфорированной тарелкой положительно влияет на гидродинамику газожидкостного потока. За счет увеличения газосодержания в барботажном слое создаются лучшие условия для взаимодействия газа и жидкости. Дополнительная интенсификация процесса происходит благодаря созданию под перегородкой активной пенной зоны с развитой поверхностью контакта фаз.

Для предотвращения негативных явлений, связанных с возможным избыточным содержанием газа в смеси, скорость жидкости в секциониро-

ванной барботажной колонне следует поддерживать выше минимального значения, гарантирующего отсутствие эффекта инверсии фаз. При этом следует отметить, что в некоторых случаях подача свежей жидкости в колонну этого не обеспечивает [13], ввиду чего может потребоваться применение схем принудительной или естественной циркуляции.

Список литературы

1. Thaker K., Rao D.P. Effects of gas redispersion and liquid height on gas-liquid hydrodynamics in a multistage bubble column // Chemical Engineering Research and Design. – 2007. – Vol. 85. – P. 1362–1374.
2. Gas holdup and longitudinal dispersion in different types of multiphase reactors and their possible application for microbial processes / K. Schugerl, J. Todt, J. Lucke, A. Renken // Chem. Eng. Sci. – 1977. – Vol. 32. – P. 369–375.
3. Xia Y.K., Peng F.F., Wolfe E. CFD simulation of alleviation of fluid back mixing by baffles in bubble column // Minerals Engineering. – 2006. – Vol. 19. – P. 925–937.
4. Новый справочник химика и технолога. Процессы и аппараты химических технологий. Ч. 1 / АНО НПО «Профессионал». – СПб., 2004. – 848 с.
5. Грудников И.Б. Производство нефтяных битумов. – М.: Химия, 1983. – 192 с.
6. Грудников И.Б., Егоров И.В., Прокопюк С.Г. Энергосберегающий экологичный окислительный аппарат производства битумов // Нефтепереработка и нефтехимия. – 1999. – № 5. – С. 42–45.
7. Опыт внедрения внутренних контактных устройств с выносной зоной сепарации на установке по производству битумов ООО «ЛУКОЙЛ-Пермнефтеоргсинтез» / В.А. Крылов [и др.] // Химическая техника. – 2009. – № 7. – С. 26–28.
8. Совершенствование конструкций окислительных колонн в производстве дорожных нефтяных битумов / С.Х. Загидуллин, А.А. Абишев, В.А. Крылов, А.Н. Нечаев // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2011. – № 1. – С. 46–49.
9. Соколов В.Н., Доманский И.В. Газожидкостные реакторы. – Л.: Машиностроение, 1976. – 216 с.
10. Кац М.Б., Генин Л.С. Изучение продольного перемешивания жидкости в прямоточных барботажных реакторах, секционированных ситчатыми тарелками // Химическая промышленность. – 1966. – № 11. – С. 50–55.

11. Грудников И.Б., Грудникова Ю.И. О структуре барботажного слоя в окислительной битумной колонне // Химия и технология топлив и масел. – 2006. – № 2. – С. 26–27.
12. Азбель Д.С., Зельдин А.Н. Исследование основных гидродинамических параметров барботажного слоя с учетом диссипативных сил // ТОХТ. – 1971. – № 6. – С. 863–870.
13. Айзенбуд М.Б., Дильман В.В. О газосодержании барботажного слоя // Химическая промышленность. – 1963. – № 4. – С. 55–57.
14. Павлов В.П. Циркуляция жидкости в барботажном аппарате периодического действия // Химическая промышленность. – 1965. – № 9. – С. 58–60.
15. Рамм В.М. Абсорбция газов. – М.: Химия, 1976. – 656 с.
16. 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. – С. 243–253.
17. Пат. 2369433 РФ, МПК C10C 3/04. Газожидкостной реактор для получения окисленных нефтяных битумов / С.Х. Загидуллин, В.Ю. Жуков, В.И. Якунин, В.А. Крылов. – Опубл. 28.05.2008.
18. Аэров М.Э., Меньщиков В.А., Трайнина С.С. Исследование работы барботажной колонны с высоким слоем жидкости // Химическая промышленность. – 1967. – № 2. – С. 69–73.
19. 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.
20. Пискунов Н.С. Дифференциальное и интегральное исчисление: учеб. для вузов. – М.: Наука, 1985. – Т. 2. – 560 с.
21. Грудникова Ю.И., Грудников И.Б., Рахимов М.Н. Структура барботажного слоя в процессах окисления воздухом жидкофазного сырья // Химия и технология топлив и масел. – 2007. – № 6. – С. 20–22.
22. Долганов В.Л. Разработка и исследование сернокислотного концентратора газлифтного типа: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 1986. – 17 с.
23. Долганов В.Л. К вопросу диссипации энергии и критического газосодержания в газлифте // Актуальные проблемы общественных естественных и технических наук: тез. докл. 3-й межвуз. конф. – Пермь, 1983. – С. 11.

Получено 2.06.2011