

Режимы формирования пузырьковых потоков в вязкой жидкости¹

Воробьев М.А., Кашинский О.Н., Лобанов П.Д., Чинак А.В.

Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, Новосибирск

Проведено экспериментальное исследование процесса отрыва пузыря от одиночного капилляра в нисходящем потоке жидкости. В качестве рабочей жидкости использовался глицерин. Для исследования влияния физических свойств жидкости на процесс формирования пузырей эксперимент проводился при различных температурах. Представлены зависимости среднего размера пузыря от таких параметров, как: расход газа, температура и среднерасходная скорость жидкости, а также размер капилляра. Получены данные о наиболее характерных режимах формирования пузырьковой смеси. Показано, что коалесценция пузырей вблизи капилляра является процессом, определяющим вид распределения пузырей по размерам в потоке. Найдены режимы формирования пузырьковых течений наиболее пригодные для создания как монодисперсных, так и бидисперсных газожидкостных смесей.

Ключевые слова: двухфазные потоки, пузырьковые течения, режимы генерации пузырей

1. Введение

При движении двухфазных газожидкостных смесей в трубах и каналах в зависимости от расходов фаз, геометрии канала и направления потока возникают различные режимы течения. Одним из наиболее интересных и практически важных является пузырьковый режим течения, когда газовая фаза присутствует в потоке в виде отдельных пузырей достаточно малого размера. Спектр применения пузырьковых газожидкостных смесей весьма широк. Исследование пузырьковых течений актуально для химической и атомной промышленности, металлургии, оксигенации и очистки воды. Создание микропузырей является важной областью исследований в материаловедении и пищевой индустрии. В различных медицинских приложениях пузыри микронного размера используются для разрушения тромбов или транспортировки лекарств [1–3]. Поэтому задача создания газожидкостных пузырьковых смесей с заданными газосо-

держанием и размером пузырьков является актуальной.

Большое количество работ посвящено исследованию паро- и газожидкостных пузырьковых потоков. Присутствие газовых включений в жидкости позволяет не только управлять величиной межфазной границы, но и может привести к изменению свойств и структуры. Примечателен тот факт, что при одинаковых расходных параметрах жидкости и газа в пузырьковых течениях существенное влияние на тепло- и массообменные процессы в потоке оказывает размер газовых включений [4–7]. Наибольший эффект наблюдается в монодисперсных газожидкостных смесях, когда разброс размеров пузырей минимален [8].

Таким образом, существует возможность управления процессами переноса в энергетических и технологических приложениях путем изменения размеров пузырей, вводимых в поток. Соответственно возникает задача о создании аппарата для генерации пузырей заданного объема в широком диапазоне, но с минимальным разбросом по размерам. Для достижения этой цели необходимо понимание происходящих процессов и поиск их определяющих параметров. В литературе представлен ряд работ, посвященных непосредственно исследованию процесса отрыва пузыря от отвер-

¹Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 15-38-21040 мол_а_вед).

ствия или капилляра, погруженного в покоящуюся жидкость. Экспериментальное исследование процесса проведено в [9]. Показано, что на поведение пузыря в жидкости оказывают влияние не только свойства сред и расход газа, но и способ ввода газа в жидкость. Также существует ряд теоретических моделей отрыва пузыря от отверстия в покоящейся жидкости [10, 11]. Изменение размеров пузырей, генерируемых в покоящейся жидкости, путем уменьшения диаметра отверстия капилляра неэффективно из-за слабой зависимости отрывного радиуса пузыря от внутреннего диаметра капилляра. Согласно работе Кутателадзе, Стырикович [12], наблюдается степенная зависимость с показателем $1/3$ отрывного диаметра пузыря от размера отверстия. Таким образом, для генерации пузырей в широком диапазоне размеров необходимо проводить отрыв пузырей в потоке жидкости.

Существует ряд работ, посвященных теоретическому исследованию отрыва газового пузыря от капилляра, находящегося в потоке жидкости [2, 13–15]. Физическое описание процесса отрыва в данных работах, как правило, основано на рассмотрении баланса сил, действующих на пузырь. Решение проблемы моделирования процесса отрыва пузыря представляется весьма сложной задачей по причине большого количества различных эмпирических параметров. Поэтому в большинстве статей, посвященных моделированию отрыва пузыря, процесс описывается с помощью нескольких основных сил, остальными пренебрегают за счет их малости. Одна из наиболее известных моделей формирования и отрыва пузырька – модель Маршалла [14]. В рамках этой модели наиболее существенными приняты силы поверхностного натяжения и лобового сопротивления. Также в работе приведено довольно подробное исследование процесса формирования пузырей в потоке жидкости через отверстие в стенке канала.

Работы [16, 17] – одни из немногих, в которых проводятся экспериментальные исследования отрыва пузыря в потоке. В статье [16] с помощью теневой PIV/PTV (particle image velocimetry/particle tracking velocimetry) при различных расходах жидкости и газа были получены зависимости размера пузырей от положения капилляра в потоке. Показан эффект появления «вторичных» пузырей при отдалении капилляра от стенки канала. Для каждого случая были определены скорости пузырей и профили скоростей потока жидкости. Предложена модель, предсказывающая размер пузыря в зависимости от расходных параметров с учетом коалесценции пузырей. В работе [17] экспериментально показано влияние как расходных парамет-

ров жидкости и газа, так и размера капилляра на отрывной диаметр пузыря от отверстия в стенке канала в условиях пониженной гравитации.

К сожалению, количество экспериментальных работ в данной области ограничено. Соответственно возникает задача систематического экспериментального исследования процесса отрыва пузыря от одиночного капилляра в потоке жидкости. Целью данной работы является исследование влияния расходных параметров течения на процесс формирования пузырей в жидкостях с разными физическими свойствами.

2. Экспериментальная установка и методика эксперимента

2.1. Описание установки

Экспериментальная установка представляет собой замкнутый по жидкости контур (рис. 1). Рабочая жидкость (нагретый глицерин) непрерывно при помощи центробежного насоса 1 из бака 2 подавалась в прозрачный вертикальный канал, представляющий собой стеклянную трубу с внутренним диаметром $b = 15$ мм и длиной 800 мм. В центральной части канала в стенку вставлен горизонтальный капилляр из нержавеющей стали 4, через который в поток жидкости вводился газ (атмосферный воздух). Капилляр находился на расстоянии 550 мм от входа в трубу. Использовались два различных капилляра с внутренними диаметрами $d = 0.16$ и

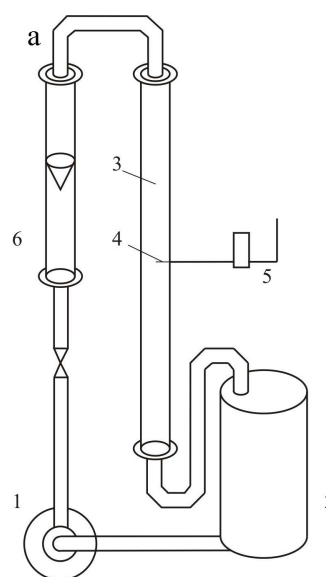


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 – насос; 2 – бак; 3 – рабочий канал; 4 – капилляр; 5 – контроллер Bronkhorst; 6 – ротаметр;

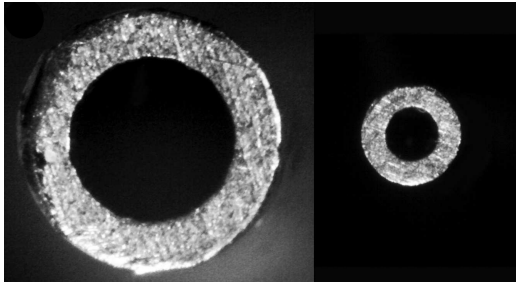


Рис. 2. Фотографии кромок капилляров.

0.5 мм. Рабочие торцы капилляров были аккуратно зашлифованы (рис. 2). Ввод газа осуществлялся при помощи контроллера Bronkhorst 5, обеспечивающего расход газа Q_g в диапазоне 2–100 мл/мин. Расход жидкости контролировался посредством ротаметра 6. Предварительная калибровка ротаметра осуществлялась весовым методом. Из рабочего канала газожидкостная смесь по возвратной трубе сливалась в бак.

В ходе проведения экспериментов нагрев и контроль температуры рабочей жидкости осуществлялся при помощи системы термостабилизации в пределах $\pm 0.2^\circ\text{C}$. Во время эксперимента производилось принудительное перемешивание рабочей жидкости в баке.

2.2. Методика эксперимента

При помощи видеокамеры были получены тепловые изображения пузырькового течения, при обработке которых измерялись размеры пузырей. Выдержка во время съемок варьировалась в пределах $1/16000$ – $1/3200$ с, частота кадров — 60 Гц. Перед началом измерений проводилась калибровочная съемка, позволяющая вычислить количество пикселей изображения на линейный размер. Обработка полученных в ходе эксперимента изображений проводилась в автоматическом режиме с использованием калибровочных данных. В каждом режиме обрабатывалось не менее 1000 кадров, что обеспечивало достаточную статистику. Использовались стандартные средства обработки изображений пакета Matlab. Определялась площадь проекции пузырей на фронтальную плоскость видеокамеры. Диаметр пузыря d_0 определялся как диаметр окружности, эквивалентной по площади изображению объекта. При обработке данных проводилась фильтрация по верхнему порогу эксцентриситета эллиптических объектов 0.3. Эксцентриситет определялся как отношение расстояния между фокусами эллипса и длины большой оси. Кроме того, отбрасывались изображения, не являющиеся вы-

пуклыми, что позволило исключить из рассмотрения пузыри в момент их коалесценции и наложения изображений разных пузырей.

Погрешность измерения расходов газа и жидкости составляли 1.5 и 2 процента соответственно. Оценочная погрешность определения размеров пузырей составляла от 5% для маленьких пузырей до 2% — для больших, так как отношение длины окружности межфазной границы к площади тепевого изображения, определяющее величину погрешности, убывает с увеличением размера пузыря.

Изменение расхода жидкости, а также изменение ее температуры позволило проводить эксперименты в довольно широком диапазоне безразмерных параметров. Число Рейнольдса $Re = \frac{\rho_L U_L b}{\eta_L}$ менялось в диапазоне $80 \div 300$, число Бонда $Bo = \frac{g d_0^2 \Delta \rho}{\sigma} = 0.04 \div 1.7$, число Мортон $Mo = \frac{g \eta_L^4 \Delta \rho}{\rho_L^2 \sigma^3} = 9 \cdot 10^{-4} \div 1.7 \cdot 10^{-6}$, где ρ_L — плотность жидкости, U_L — среднерасходная скорость жидкости, η_L — динамическая вязкость жидкости, g — ускорение свободного падения, d_0 — диаметр пузырька, $\Delta \rho$ — разность плотностей жидкости и газа, σ — коэффициент поверхностного натяжения жидкости.

3. Результаты экспериментов

Эксперимент проводился в нисходящем течении при положении точки ввода газа в поток в центре канала. Такая конфигурация была выбрана потому что ранее в работе [18] именно при таком направлении течения и положении капилляра наблюдались наиболее интересные режимы отрыва, требующие более детального изучения. При установленной температуре жидкости и ее расходе производилась съемка течений с различными расходами газа. Рабочей жидкостью выступал глицерин, разогретый до температур 70°C , 80°C , 90°C , что соответствует вязкостям 0.059, 0.035 и $0.021 \text{ Па} \cdot \text{с}$ [19].

3.1. Режимы генерации пузырей

Рассмотрим изображения, полученные в процессе эксперимента и режимы течения соответствующие им.

При достаточно маленьких расходах газа, примерно от 2 до 12 мл/мин для капилляра с $d = 0.5$ мм и от 2 до 6 мл/мин для тонкого капилляра, реализуется режим одиночного отрыва, когда пузырь, оторвавшись от капилляра, слабо влияет на отрыв последующего. При этом диаметр пузыря не зависит от расхода газа (см. пункт 3.2.). Примеры таких течений представлены на рис. 3(а),(в). Для такого режима отрыва характерен один ярко выраженный

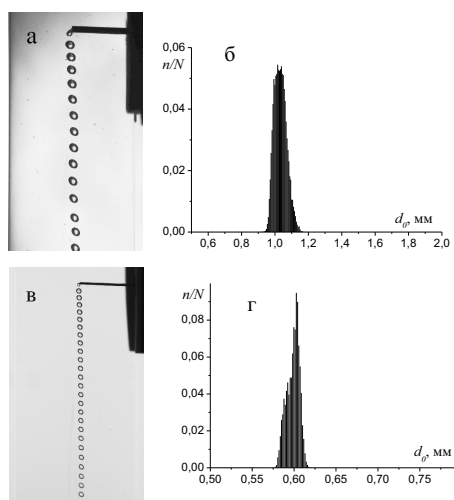


Рис. 3. Одиночный режим отрыва: а) изображение одиночного режима отрыва с параметрами $d = 0.5$ мм, $T = 90^\circ\text{C}$, $U_l = 0.33$ м/с, $Q_g = 8$ мл/мин; б) распределение пузырей по размерам для режима (а); в) изображение одиночного режима отрыва с параметрами $d = 0.16$ мм, $T = 70^\circ\text{C}$, $U_l = 0.19$ м/с, $Q_g = 4$ мл/мин; г) распределение пузырей по размерам для режима (в)

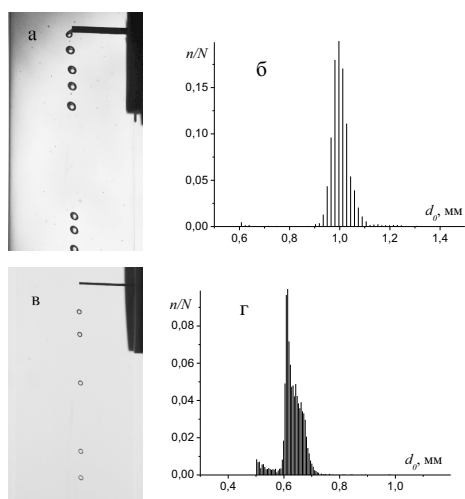


Рис. 4. Импульсный режим отрыва: а) изображение импульсного режима отрыва с параметрами $d = 0.5$ мм, $T = 90^\circ\text{C}$, $U_l = 0.33$ м/с, $Q_g = 4$ мл/мин; б) распределение пузырей по размерам для режима (а); в) изображение импульсного режима отрыва с параметрами $d = 0.16$ мм, $T = 70^\circ\text{C}$, $U_l = 0.19$ м/с, $Q_g = 2$ мл/мин; г) распределение пузырей по размерам для режима (в)

пик на гистограмме размеров (рис. 3(б),(г)). Подобные режимы наиболее пригодны для создания монодисперсной газожидкостной смеси.

При малых расходах газа (примерно от 2 до 6 мл/мин для капилляра с $d = 0.5$ мм и до 2 мл/мин для тонкого капилляра $d = 0.16$ мм) можно наблюдать импульсный режим отрыва пузыря (рис. 4(а),(в)), когда цепочка пузырей периодически прерывается и возобновляется. При таком режиме, который является частным случаем одиночного отрыва, наблюдается также лишь один пик на гистограмме размеров (рис. 4(б),(г)).

Характерное поведение пузырькового течения при увеличении расхода газа — это переход от режима одиночного отрыва к режиму, для которого свойственны два ярко выраженных пика на гистограмме размеров (рис. 5(а)). При этом дополнительный пик (рис. 5(б)) соответствует пузырям вдвое большего объема. Этот факт дает основание утверждать, что большие пузыри возникают в результате объединения маленьких (соответствующих одиночному отрыву) вблизи капилляра. При увеличении расхода газа частота коалесценции возрастает, следовательно, растет и доля крупных пузырей (рис. 5(в),(г)). Реализуя такие режимы можно получать бидисперсные газожидкостные смеси с контролируемым соотношением числа крупных и мелких пузырей. При дальнейшем увеличении Q_g течение может вновь перейти в режим с одним характерным размером пузыря (рис. 5(д),(е)). Но такие пузыри, как можно понять из вышеизложенного, являются не следствием одиночного отрыва, а продуктом постоянной коалесценции пузырей вдвое меньшего объема. При дальнейшем повышении расхода газа реализуются такие режимы отрыва, для которых характерны три и более ярко выраженных пика на гистограмме размеров (рис. 6). Подобные результаты были получены в работе [20].

Также при некоторых параметрах реализовались неустойчивые режимы отрыва, когда несколько различных видов течений беспорядочно сменяли друг друга. Для таких режимов характерно более двух пиков на гистограмме размеров. Примеры таких режимов представлены на рис. 7. При расходах газа порядка 100 мл/мин можно наблюдать переход отрыва пузыря к струйному режиму, для которого характерен большой разброс пузырей по размерам, а также сильное отклонение формы пузырей от сферической. Примеры таких течений представлены на рис. 8. Из-за сложной трехмерной формы пузырей и перекрытия их изображений такие режимы не поддаются компьютерной обработке.

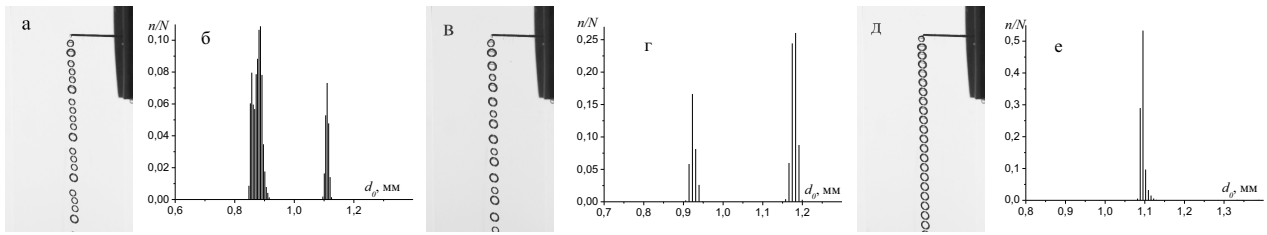


Рис. 5. Режимы отрыва с коалесценцией пузырей: а) течение с параметрами $d = 0.16$ мм, $T = 70^\circ\text{C}$, $U_l = 0.22$ м/с, $Q_g = 10$ мл/мин; б) распределение пузырей по размерам для режима (а); в) течение с параметрами $d = 0.16$ мм, $T = 70^\circ\text{C}$, $U_l = 0.22$ м/с, $Q_g = 12$ мл/мин; г) распределение пузырей по размерам для режима (в); д) течение с параметрами $d = 0.16$ мм, $T = 70^\circ\text{C}$, $U_l = 0.22$ м/с, $Q_g = 15$ мл/мин; е) — распределение пузырей по размерам для режима (д)

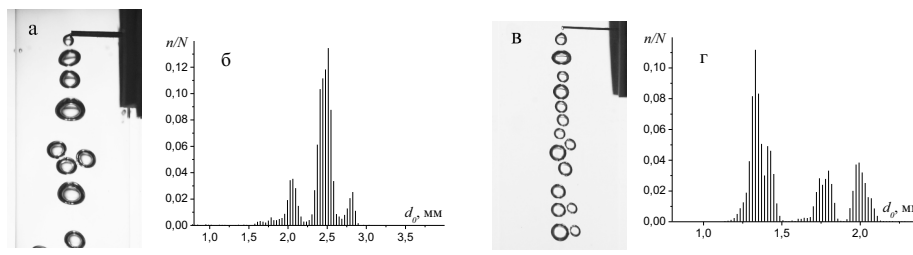


Рис. 6. Режимы отрыва с коалесценцией пузырей: а) течение с параметрами $d = 0.5$ мм, $T = 70^\circ\text{C}$, $U_l = 0.22$ м/с, $Q_g = 40$ мл/мин; б) распределение пузырей по размерам для режима (а); в) течение с параметрами $d = 0.16$ мм, $T = 70^\circ\text{C}$, $U_l = 0.19$ м/с, $Q_g = 20$ мл/мин; г) распределение пузырей по размерам для режима (в)

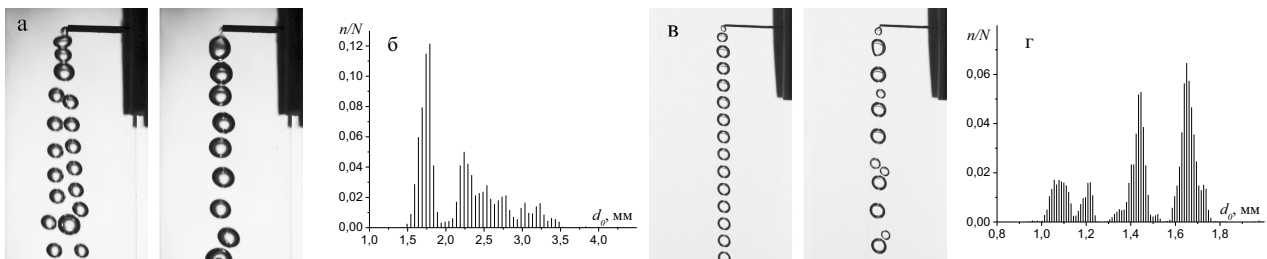


Рис. 7. Неустойчивые режимы отрыва пузырей: а) течение с параметрами $d = 0.5$ мм, $T = 70^\circ\text{C}$, $U_l = 0.19$ м/с, $Q_g = 20$ мл/мин; б) распределение пузырей по размерам для режима (а); в) течение с параметрами $d = 0.16$ мм, $T = 70^\circ\text{C}$, $U_l = 0.19$ м/с, $Q_g = 15$ мл/мин; г) распределение пузырей по размерам для режима (в)

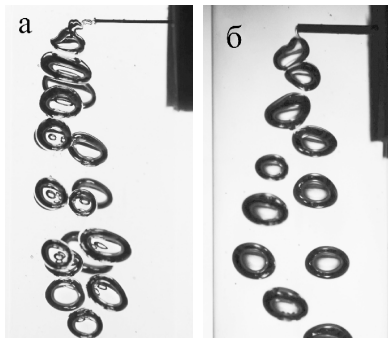


Рис. 8. Изображение струйного режима отрыва:
 а) течение с параметрами $d = 0.16$ мм, $T = 80^\circ\text{C}$, $U_l = 0.25$ м/с, $Q_g = 100$ мл/мин;
 б) течение с параметрами $d = 0.5$ мм, $T = 80^\circ\text{C}$, $U_l = 0.25$ м/с, $Q_g = 60$ мл/мин

3.2. Зависимость размеров пузыря от параметров течения

Рассмотрим данные, полученные при генерации пузырей с использованием капилляра с внутренним диаметром 0.5 мм. Зависимость среднего размера пузырей d_0 от среднерасходной скорости U_l и температуры жидкости, а также от расхода газа Q_g представлена на рис. 9. Снижение расхода газа приводит к уменьшению диаметра генерируемых пузырей, при достаточно малых Q_g (менее 10) зависимость выходит на постоянное значение, соответствующее диаметру пузыря примерно 1 мм. Дальнейшее уменьшение расхода газа сказывается на частоте отрыва, а не на размере генерируемых пузырей. При малых расходах газа, когда именно баланс сил является фактором, определяющим отрывной диаметр пузыря, наблюдается тенденция к уменьшению среднего размера пузырей с увеличением температуры и скорости жидкости. При больших расходах газа, когда реализуются более сложные режимы отрыва, такой зависимости в явном виде не наблюдается.

Были проведены исследования с использованием капилляра с внутренним диаметром $d = 0.16$ мм. На рис. 10 представлена зависимость диаметра генерируемого пузыря от расходных параметров жидкости и газа, а также от температуры рабочей жидкости. Как и в предыдущем случае, снижение расхода газа приводит к уменьшению размеров газовых включений. Отличие состоит в том, что при уменьшении расхода газа зависимость выходит на постоянное значение, соответствующее диаметру пузыря примерно 0.5 мм, а сама область постоянного диаметра намного короче, чем в случае крупного капилляра. В случае тонкого капилляра, даже при больших расходах газа, средний размер пузы-

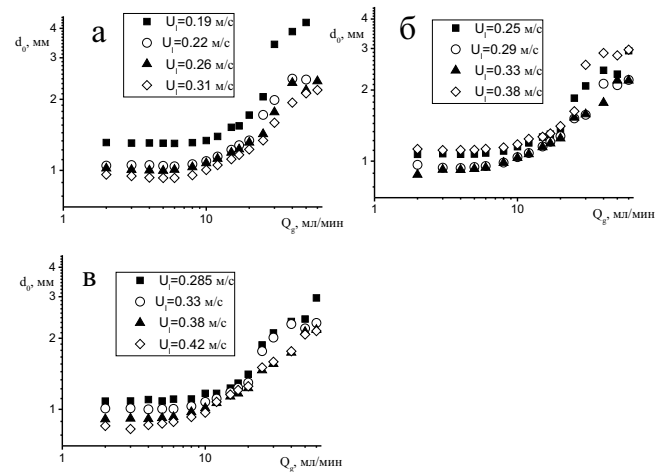


Рис. 9. Зависимости среднего диаметра пузыря от расхода газа при различной расходной скорости жидкости и температуре; внутренний диаметр капилляра $d = 0.5$ мм: а) $T = 70^\circ\text{C}$; б) $T = 80^\circ\text{C}$; в) $T = 90^\circ\text{C}$

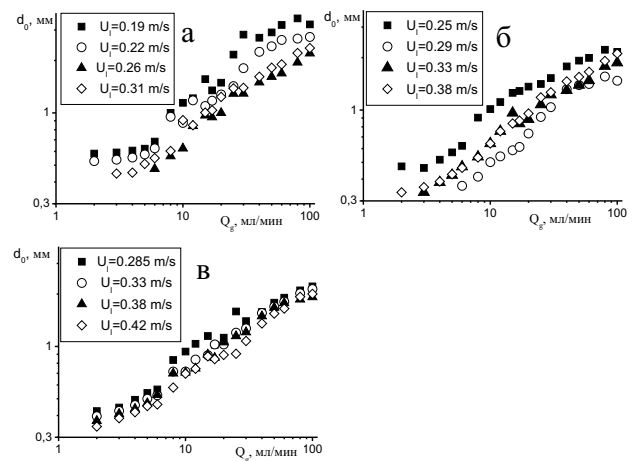


Рис. 10. Зависимости среднего диаметра пузыря от расхода газа при различной расходной скорости жидкости и температуре; внутренний диаметр капилляра $d = 0.16$ мм: а) $T = 70^\circ\text{C}$; б) $T = 80^\circ\text{C}$; в) $T = 90^\circ\text{C}$

рей меньше, чем в капилляре с внутренним диаметром 0.5 мм. При малых расходах газа наблюдается следующая закономерность — чем выше среднерасходная скорость жидкости и температура, тем меньше объем пузырей. В то время, как при больших расходах газа такой зависимости не прослеживается.

4. Заключение

Проведено систематическое исследование процесса отрыва пузырей в ламинарном потоке вязкой жидкости. Получены зависимости отрывного диаметра пузырей от скорости и температуры жидкости, расхода газа и диаметра капилляра. Показано, что форма гистограммы распределения пузырей по размерам качественно изменяется при превышении некоторой частоты отрыва, что связано с уменьшением расстояния между пузырями и их взаимодействием друг с другом, что приводит к их слиянию. Обнаружен ряд различных режимов отрыва пузырей в потоке жидкости, отличающихся размером газовых включений и их распределением по размерам, а также пространственной структурой течения. Приведены характерные картины течения. Найдены режимы наиболее пригодные для получения как монодисперсной, так и бидисперсной газожидкостной смеси. Таким образом, при превышении некоторого критического расхода газа наблюдается увеличение количества случаев коалесценции пузырей вблизи капилляра, и определяющим процессом становится слияние пузырей, а не баланс сил вблизи капилляра, что приводит к уменьшению степени влияния на отрывной размер пузырей расходных и геометрических характеристик установки и физических свойств жидкости. Для более качественного управления характеристиками оборудования рекомендуется выбор оптимального количества капилляров и расхода газовой фазы для работы в режиме одиночного отрыва.

Список литературы

- [1] Geißlera T., Plevana M., Abanades A., et al. Experimental investigation and thermo-chemical modeling of methane pyrolysis in a liquid metal bubble column reactor with a packed bed // *International Journal of Hydrogen Energy*. 2015. Vol. 40(41). P. 14134–14146.
- [2] Bai H., Brian G.Th. Bubble formation during horizontal gas injection into downward-flowing liquid // *Metallurgical and materials transactions B*. 2001. Vol. 32(6). P. 1143–1159.
- [3] Filho W.D.A., Schneider F.K., Morales R.E. Evaluation of stability and size distribution of sunflower oil-coated micro bubbles for localized drug delivery // *BioMed Eng OnLine*. 2012. Vol. 11(71). doi:10.1186/1475-925X-11-71
- [4] Капшинский О.Н., Рандин В.В., Лобанов П.Д., Богословцев Г.В. Влияние дисперсности газовой фазы на характеристики опускного пузырькового течения // *Теплофизика и аэромеханика*. 2005. Т. 12, вып. 4. С. 637–643.
- [5] Alexandros V., Toshihiko Sh., Tsujimoto, Koichi, Toshitake A. Investigation of bubble size effect on vertical upward bubbly two-phase pipe flow consisted with an abrupt expansion // *Journal of Fluid Science and Technology*. 2009. Vol.4(2). P. 442–453.
- [6] Liu T. Investigation of the wall shear stress in vertical bubbly flow under different bubble size conditions // *Int. J. Multiphase Flow*. 1997. Vol. 23(6). P. 1085–1109.
- [7] Lu J., Tryggvason G. Effect of bubble deformability in turbulent bubbly upflow in a vertical channel // *Physics of Fluids*. 2008. Vol. 20(4). doi: 10.1063/1.2911034
- [8] Timkin L.S., Gorelik R.S. Asymmetry of the wall shear stress in a stimulated ascendant flow of a liquid with monodisperse bubbles // *J. Engin. Thermophys*. 2008. Vol. 17(2). P. 105–112. doi:10.1134/S181023280802001X
- [9] Liu L., Yan H., Zhao G. Experimental studies on the shape and motion of air bubbles in viscous liquids // *Experimental Thermal and Fluid Science*. 2015. Vol. 62. P. 109–121.
- [10] Бувевич Ю.А., Бутков В.В. О механизме образования пузыря при истечении газа в жидкость из круглого отверстия // *ТОХТ*. 1971. Т. 5, вып. 1. С. 74–83.
- [11] Davidson J.F., Schuler B.O.G. Bubble formation at an orifice in a viscous liquid // *Chemical Engineering Research and Design*. 1997. Vol. 75(1). P. 105–115.
- [12] Кутателадзе С.С., Стырикович М.А. Гидравлика газожидкостных систем. // М.: Энергия. 1976. С. 44–45.
- [13] Liu Ch., Liang B., Tang Sh., Zhang H., Min E. A theoretical model for the size prediction of bubbles formed under liquid cross-flow // *Chinese Journal of Chemical Engineering*. 2010. Vol. 18(5). P. 770–776.
- [14] Marshall S.H., Chudachek M.W. A Model for bubble formation from an orifice with liquid cross-flow // *Chemical Engineering Science*. 1993. Vol. 48(11). P. 2049–2059.
- [15] Tan R.B.H., Chen W.B., Tan K.H. A nonspherical model for bubble formation with liquid cross flow // *Chem. Eng. Sci*. 2000. Vol. 55. P. 6259–6257.

- [16] Ghaemi S., Rahim P., Nobes D.S. The effect of gas-injector location on bubble formation in liquid cross flow // *Physics of Fluids*. 2010. Vol. 22(4). doi: 10.1063/1.3371955
- [17] Nahra H.K., Kamotani Y. Bubble formation from wall orifice in liquid cross-flow under low gravity // *Chemical Engineering Science*. 2000. Vol. 55. P. 4653–4665.
- [18] Воробьев М.А., Кашинский О.Н., Лобанов П.Д., Чинак А.В. Формирование мелкодисперсной газовой фазы в восходящем и опускном потоке жидкости. // *МЖГ*. 2012. Т. 4. С. 68–74.
- [19] Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей // Издание второе. Наука. Москва 1972. С. 423.
- [20] Tritton D.J., Egdeell C. Chaotic bubbling // *Physics of Fluids A: Fluid Dynamics*. 1993. Vol. 5(2). P. 503–505

Bubble flow formation regimes in viscous liquid

Vorobyev M.A., Kashinskiy O.N., Lobanov P.D., Chinak A.V.

Kutateladze Institute of Thermophysics SB RAS

The experimental study of the process of bubble detachment from a single capillary in downward liquid flow was performed. The glycerin was used as a working liquid. In order to study the effect of physical properties of liquid on the formation of bubbles experiment was conducted at different temperatures. Presented average bubble size is depended on parameters such as gas flow rate, temperature and volume velocity of liquid, as well as the capillary diameter. The data about the most characteristic mode of formation of the gas-liquid mixture was obtained. It is shown that coalescence of bubbles near the capillary is the process that determines the type of bubbles size distribution in the fluid flow. The regimes of bubble formation most suitable for the generation of a monodisperse, and bidisperse gas-liquid mixture are presented in the study.

Keywords: two-phase flow, bubbly flow, bubble formation regimes

