

Л. С. Тимкин^{1}, Р. С. Горелик¹, О. Н. Кашинский¹*

Цифровая обработка изображений в пузырьковых потоках

¹Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, г. Новосибирск, Российская Федерация
* e-mail: timkin@itp.nsc.ru

Аннотация. Пузырьковые течения широко распространены в разнообразных промышленных технологических процессах. Обычно пузырьки создаются с помощью различного типа технических устройств – генераторов пузырьков, формирующих пузырьковый газожидкостный поток с оптимальными для данного процесса тепло- и массообменными характеристиками. Одними из главных физических параметров в пузырьковой смеси являются размер и дисперсность газовой фазы, существенно влияющие как на интегральные характеристики смеси, так и на окончательные параметры конкретных устройств и аппаратов. Для прогнозирования характеристик пузырьковых течений в модельных установках и адекватного применения таких течений в реальных аппаратах необходимо максимальное точное определение геометрических характеристик пузырьков. Предлагаемая работа посвящена цифровой обработке фотографий пузырьков в двухфазных газожидкостных смесях при малых объемных газосодержаниях β , для миллиметровых пузырьков обычно $\beta \leq 10\%$. При больших газосодержаниях цифровая обработка существенно затруднена. В таких смесях невозможно четко определять полную границу пузырька из-за сильного перекрытия изображений различных пузырьков.

Ключевые слова: пузырьковые течения, цифровая фотография, обработка изображений

L. S. Timkin^{1}, R. S. Gorelik¹, O. N. Kashinskiy¹*

Digital Image Processing in Bubbly Flows

¹Kutateladze Institute of Thermophysics SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation
* e-mail: timkin@itp.nsc.ru

Abstract. The bubble flows are widely used in various technological processes. Ordinary bubbles are produced by diverse technical gears – bubble generators, intended to form gas-liquid bubble flow with optimal heat- mass- transfer characteristics for given process. Ones of the main physical parameters in bubbly mixtures are the bubbles sizes and dispersity of mixture, that in significantly influenced as on integral characteristics of mixture so and on final parameters of actual device and apparatus. To predict the real bubble mixture characteristics in model set-up and to optimal usage this flows in real apparatus it is necessary precisely define the bubble's geometrical parameters. This work is devoted to digital bubble's images in the two-phase gas-liquid mixtures and flows with small gas void fractions β , ordinary $\beta \leq 10\%$. At greater gas volume fraction the digital image processing is significantly hindered. In this mixtures it is impossible precisely define the full-real bubble's boundary. At current moment it is an invincible obstacle.

Keywords: bubble flows, digital photography, image processing

Введение

Развитие цифровых технологий позволило обрабатывать изображения в цифровом формате. В ходе развития цифровой фотографии получили широкое развитие разнообразные методы обработки цифровых изображений, см. например [1]. Предложенные ранее математические алгоритмы обработки численных массивов были преобразованы в программном виде на различных языках программирования, включены в различные языки-программы математического программирования и широко используются во многих фирменных пакетах обработки данных такие известных программных разработчиков как Matlab, Mathcad, Labview, Nuugens Software, XCAP© и многих других, например, пакет, примененный в [6] для обработки фотографий пузырьков.

Методы и материалы

В предложенной работе рассматривается обработка фотографий пузырьков с помощью свободно распространяемой в Internet программы 'Image J' (<https://imagej.net/>). Программа является сборкой методов и алгоритмов обработки изображений, написанных различными авторами на языке программирования Java и собранными в одну программу. Помимо основной программы, на сайте можно найти и подключить различные, уже готовые подпрограммы и макросы для конкретного алгоритма обработки фотографии. Также в программе имеется функция написания собственных подпрограмм обработки, либо на встроенном макро-языке, либо с помощью записи последовательных действий по обработке.

В предложенной работе использовались фотографии пузырьков в двухфазных течениях в вертикальной трубе диаметром 15 мм. Более подробно установка описана в [2]. Для генерации более «мелких» монодисперсных пузырьков в работе использовался разработанный в 2000-х годах метод фокусирующего потока, [3–5]. Метод проиллюстрирован на рис. 1, где приведена схема генератора пузырьков.

Основная жидкость заводится в трубу по оси трубы – через основной поток, а через фокусирующие отверстия 2 заводится фокусирующий поток, который обжимает пазовую струйку на выходе сопла 1 и приводит к отрыву отдельных пузырьков в отверстии. При правильном подборе расходов газа и жидкостей можно получить достаточно качественную монодисперсную пузырьковую смесь в трубе. В качестве сопел использовались обработанные медицинские иглы внутренним диаметром 200 мкм, диаметр фокусирующего отверстия составлял 500 мкм, расход газа в эксперименте на одну иглу $\sim 0,01 \text{ см}^3/\text{с}$, расход жидкости $\sim 0,5 \text{ см}^3/\text{с}$.

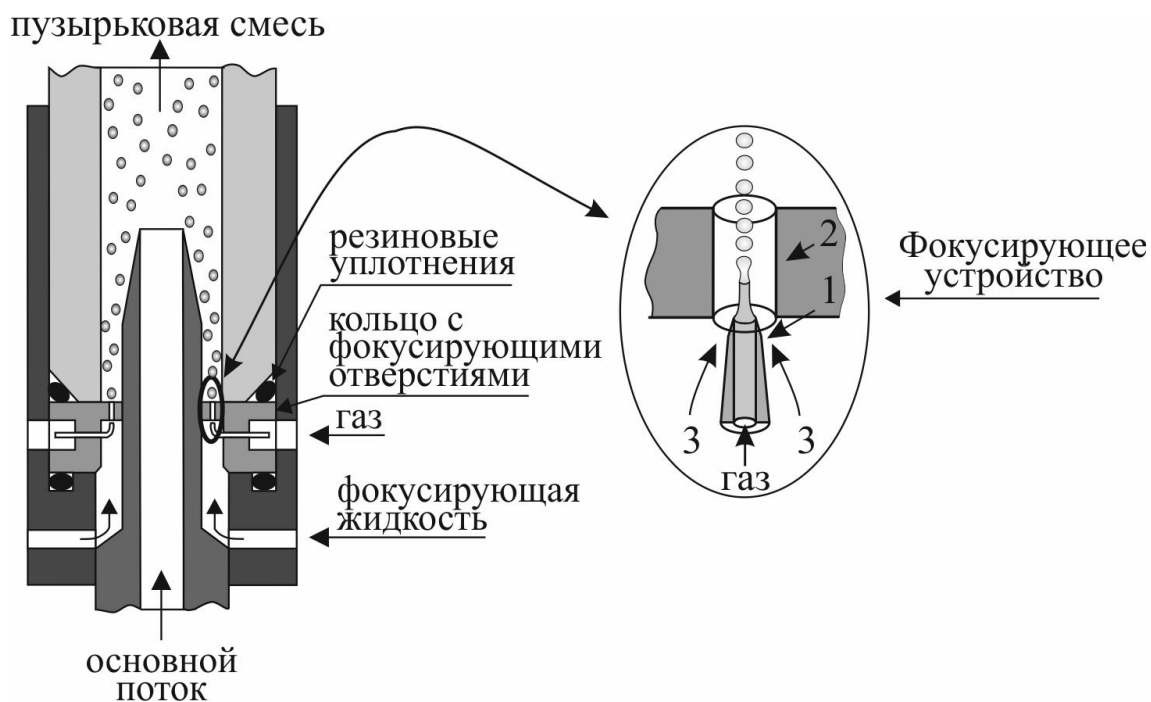


Рис. 1. Генератор пузырьков

Результаты

Необходимой основой качественной обработки пузырьков является получение качественных фотографий. Для этого требуется правильно подобранное освещение, для пузырьков потоков обычно подходит фотографирование «на просвет». При съемке в установках с криволинейной поверхностью (как в трубах) необходимо использовать иммерсионный блок.

Предварительная обработка фотографий заключается в корректировке цветовой гаммы, яркости и контраста. Затем изображение переводилось в оттенки серого цвета с последующим пороговым преобразованием по оптимальной яркости, и далее – переход к бинарному изображению. Бинарное изображение формально готово к переходу к измерениям параметров пузырьков, однако некоторое дополнительное улучшение изображения полевой фильтрацией вполне возможно. Алгоритмы процедуры 'Measurements' позволяют определять множество параметров для регистрируемых пузырьков. Они включают в себя диаметр, эквивалентный диаметр, эллиптичность, угол наклона оси симметрии пузырька, координаты центра пузырька, площадь и др.

На рис. 2 приведены фотографии и результаты, полученные в ходе обработки фотографий пузырьков разного диаметра. Объемное газосодержание потока (равное объемному расходу газа, отнесенному к общему расходу смесей потока) $\beta \sim 3\text{--}4\%$. В первой колонке (а) приведены фотографии пузырьков после первичной обработки. В колонке (б) – изображения пузырьков после обработки в бинарном виде, а в (с) приведены соответствующие гистограммы распределения пузырьков по диаметрам.

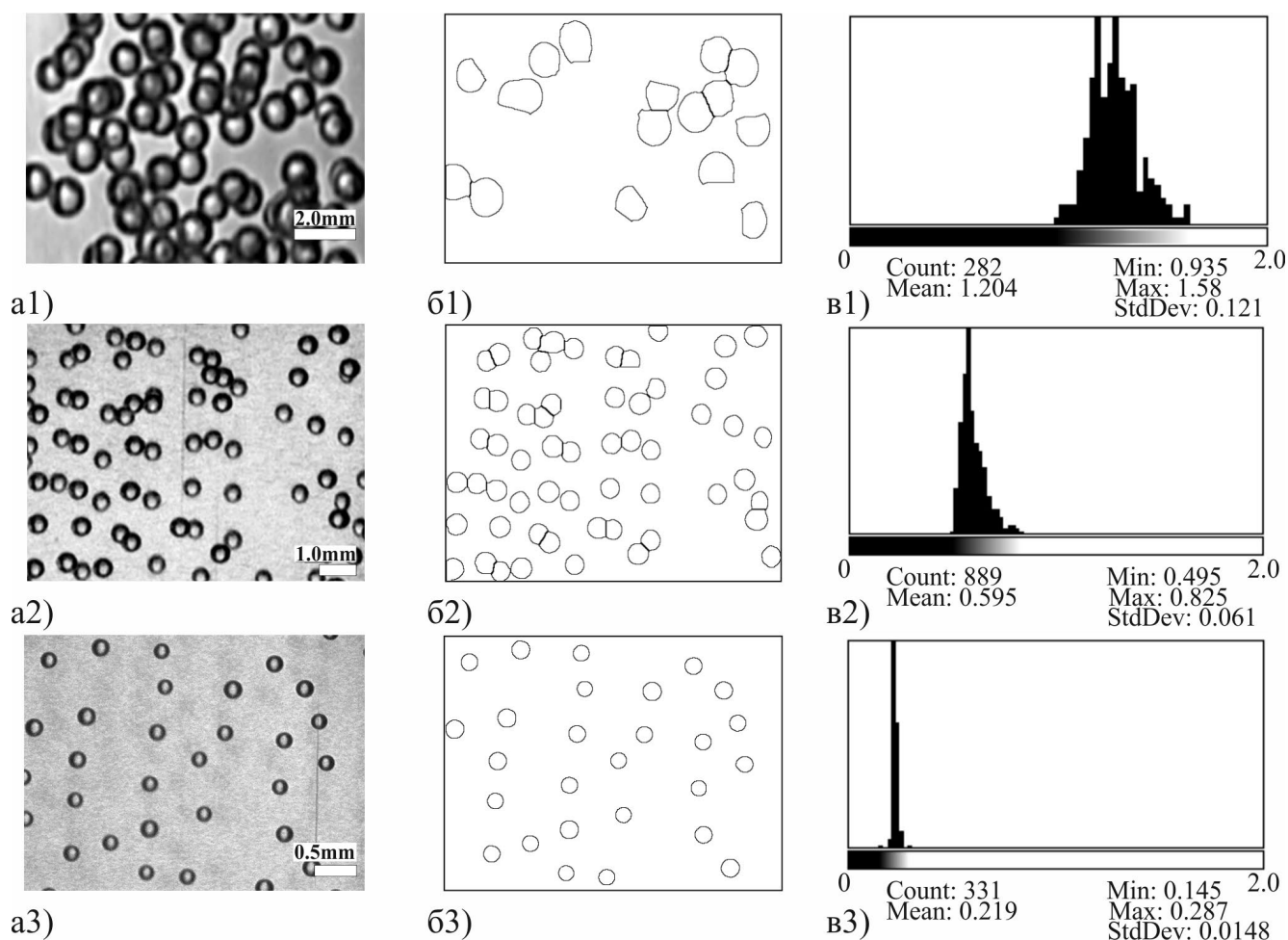


Рис. 2. Схема обработки фотографий пузырьков: а1), а2), а3) – фотографии пузырьков разного диаметра, б1), б2), б3) – результаты цифровой обработки серий таких фотографий, в1), в2), в3) – гистограммы пузырьков, полученные в результате обработки фотографий

Расшифровка подписей под гистограммами (здесь и на всех остальных гистограммах в тексте): Count – количество обработанных пузырьков, Mean – средний диаметр пузырьков (в миллиметрах), Min – минимальный диаметр, Max – максимальный диаметр, StdDev – среднеквадратичное отклонение диаметра пузырьков от среднего, мм.

При увеличении количества пузырьков в кадре начинается перекрытие пузырьков на изображении. Некоторое улучшение качества изображения, в частности, проведение границы раздела между перекрывающимися изображениями пузырьков, возможно с помощью функции ‘Watershed’. Алгоритм помогает разоб- рать на «части» перекрывающиеся изображения пузырьков при их не очень большом перекрытии.

В качестве примера «непрозрачных» пузырьковых смесей приведены фото- графии пузырьковых течений с разным объемным газосодержанием (рис. 3).

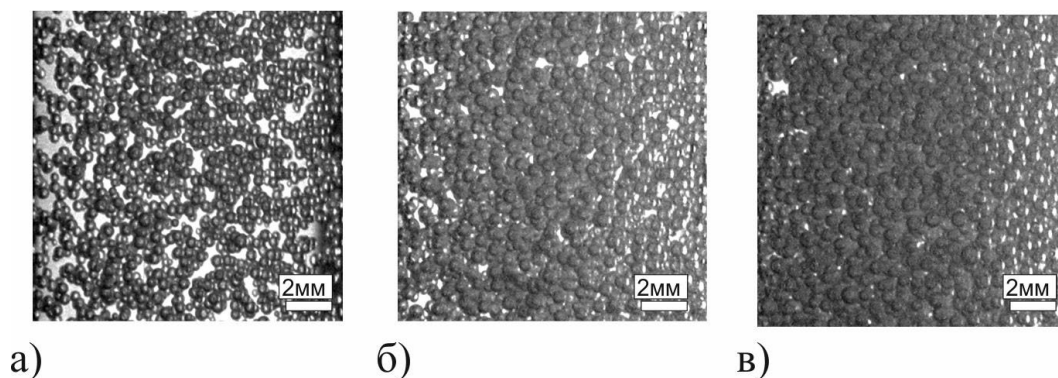


Рис. 3. Фотографии оптически непрозрачных пузырьковых течений с большим объемным газосодержанием, трудно поддающиеся цифровой обработке: объемное газосодержание а) 10%, б) 15%, в) 20%

Как видно из рис. 3, обработка фотографий течения с объемным газосодержанием более 10% практически невозможна из-за оптической непрозрачности течения.

Заключение

Основные особенности цифровой обработки фотографий пузырьковых потоков программой Image J представлены в работе. Приведены конкретные примеры и полученные результаты. Отмечено, что при газосодержаниях больше 10% цифровая обработка фотографий затруднена в силу множественного перекрытия изображений пузырьков, что в настоящий момент не позволяет определить их полную границу.

Возможно получение среднего газосодержания при обработке фотографий стереосъемки течения со сферическими пузырьками, однако пока ошибка таких измерений достаточно высока.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Р. Гонсалес, Р. Вудс. Цифровая обработка изображений. Под ред. П.А. Чочиа, перевод с английского. Москва: Техносфера, 1070 стр., 2006.
2. Timkin L.S. and R.S. Gorelik R.S. Local bubble slip velocity in a downward laminar tube flow // Thermophysics and Aeromechanics. 2020. – Vol. 27. – No. 2. – P. 259 – 268.
3. Encyclopedia of Microfluidics and Nanofluidics. Editor in chief: Dongqing Li. ISBN: 978-0-387-48998-8, Springer Science + Business Media, LLC, 2226, P. 2008.
4. Anna S.L., N. Bontoux, H.A. Stone. Formation of dispersions using "flow focusing" technique. Appl. Phys. Lett., vol. 82, 364, 2003.
5. P. Garstecki, I. Gitlin, W. DiLuzio, G.M. Whitesides, E. Kumacheva, H.A. Stone. Formation of monodisperse bubbles in a microfluidic flow-focusing device. Appl. Phys. Lett., 85, pp. 2649–2651, 2004.
6. J. Martínez-Mercado, C.A. Palacios-Morales, R. Zenit. Measurement of pseudoturbulence intensity in monodispersed bubbly liquids for $10 < \text{Re} < 500$. Phys. Fluids, 19, pp. 103302(1-13), 2007.

© Л. С. Тимкин, Р. С. Горелик, О. Н. Кашинский, 2024