



УДК 532.5

Смирнова Мария Валерьевна, доцент, к.т.н., кафедра гидродинамики, теории корабля и экологической безопасности судов ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

603951, Россия, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5

Капустин Иван Александрович, старший научный сотрудник, к. ф.-м. н., отделения геофизических исследований Институт прикладной физики РАН

603950, Россия, Нижний Новгород, ул. Ульянова, 46

Лещев Георгий Владимирович, инженер отделения геофизических исследований Институт прикладной физики РАН

603950, Россия, Нижний Новгород, ул. Ульянова, 46

Чижикова Мария Николаевна, аспирант, кафедра гидродинамики, теории корабля и экологической безопасности судов ФГБОУ ВО ВГУВТ

603951, Россия, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5

СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕНОСА ПОВЕРХНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ НА ПОВЕРХНОСТЬ ВОДЫ ВСПЛЫВАЮЩИМИ ПУЗЫРЬКАМИ ГАЗА

Ключевые слова: пузырьковый поток, поверхностно-активные вещества, экспериментальные методы исследования

Рассмотрено современное состояние проблемы исследования процессов выноса поверхностно-активных веществ (ПАВ) из толщи воды на поверхность всплывающими пузырьками газа в природных и технических системах. Показано, что существующие методы экспериментального исследования пузырьковых потоков не позволяют достаточно точно оценить такие параметры, как размер пузырьков и газосодержание. Авторами ведется разработка новых подходов и методов исследования процесса выноса поверхностно-активных веществ всплывающими в жидкости пузырьками газа.

Несмотря на активное использования процессов выноса примесей пузырьками воздуха во многих технических системах, например, системах водоочистки и водоподготовки, обогащения руд, в пищевом производстве, а также процессов переноса органических веществ на водную поверхность в природных условиях, в частности, при всплытии метановых пузырьков из осадочных донных слоев водоемов, кавитационных пузырьков в корабельных следах и др., эти процессы в силу их сложности пока не могут считаться полностью изученными. В настоящее время появляется необходимость решения задачи обнаружения подводных пузырьковых течений, возникающих вследствие аварий на подводных трубопроводах или при несанкционированном заглубленном сбросе сточных вод, в технических барботажных системах для их оптимизации и пр. Для такой задачи необходимо знать картину течений, возникающих в пузырьковом потоке и вблизи него, в том числе в приповерхностном слое воды, что позволит рассчитывать эффективность поступления органических веществ на водную поверхность и распределение их концентрации. Весьма актуальным является и прикладной аспект, связанный с проявлением упомянутых выше природных процессов в виде так называемых

Материалы научно-методической конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов и студентов

«сликов» - областей скопления пленок органических веществ, которые приводят к выглаживанию ветровой ряби и, тем самым, “визуализации” процессов на оптических и радиолокационных, в том числе, спутниковых, изображениях поверхности океана и внутренних водоемов.

Процессам выноса примесей пузырьками газа посвящено множество работ, в частности [1-6]. Этот механизм отделения примесей широко применяется, в водоподготовке и очистке сточных вод, например, при очистке стоков от взвешенных и поверхностно-активных веществ (ПАВ) в процессах флотации и пенной сепарации, в обогащении руд и пр.

Существует ряд работ, посвященных теоретическим и экспериментальным исследованиям гидродинамики пузырьковых течений, в том числе, динамики пузырьковых цепочек, при их всплытии [7, 8, 10, 11, 12, 13]. Прикладной аспект этих работ связан, например, с исследованием цепочек метана, поднимающихся со дна водоемов [7, 8]. Основные принципы формирования вихрей под влиянием всплывающих пузырьков сформулированы в [14, 15], однако до сих пор задача математического описания процессов, протекающих в вихрях, не имеет достаточно точного решения, подтвержденного экспериментально. Также недостаточно изучена и гидродинамика процессов выноса ПАВ пузырьковыми потоками. Открытым остается вопрос об оптимальных гидродинамических условиях для сохранения прочной связи и всплытия системы «частица (ПАВ) –пузырек» [9].

Известно, что образование вихрей оказывает существенное влияние на природу процессов массообмена и влияет на перенос субстанции за счет сложной структуры течений, возникающих в окрестности пузырьков. В работе [11] рассмотрены механизмы возникновения межфазной турбулентности в двухфазных газо-жидкостных потоках применительно к тарельчатым колоннам, отличающимся высоким газосодержанием и скоростями газа, значительно превышающими скорость свободного всплытия пузырьков. В [11] рассмотрен вопрос о динамике вихревых цепочек и показано, что их устойчивость достигается при отношении расстояния между рядами вихрей к расстоянию между соседними вихрями в ряде, равном 0,2806 [16].

Кроме того, многими авторами отмечается влияние ПАВ на динамику всплытия пузырьков [4, 5, 9], при этом в области достаточно малых концентраций ПАВ исследования практически отсутствуют, поскольку полагается, что вынос их на поверхность незначительный и не имеет практического применения в технических системах [9]. Тем не менее, в природных системах, например, в морских условиях, даже незначительные концентрации ПАВ на поверхности воды могут приводить к существенному гашению коротких ветровых волн. Этот эффект используется в задачах дистанционного зондирования процессов в приповерхностном слое водоемов [17].

Существует ряд работ, посвященных экспериментальным исследованиям распределения пузырьков по размерам. [4, 12, 18]. Однако, даже применяемые в [12] методы 2D-фотосъемки не позволяют достаточно точно оценить размер крупных пузырьков вследствие сильного искажения их формы.

В ряде работ выполнены исследования пузырьковых газовых потоков в природных условиях, в частности в [19] проводились на оз. Байкал с использованием программно-аппаратного комплекса «Эхо-Байкал», разработанного на базе модернизированного эхолота Fugino FGV-1100 с однолучевыми преобразователями 28 и 200 кГц. Применяемые в работах [19, 20] методы природного исследования пузырьковых потоков имеют свои достоинства и недостатки, связанные, например, с невозможностью определения газосодержания во всем спектре размеров пузырьков по акустическим данным на нескольких частотах. В работе [21] измерение газосодержания проводилось на основе специфической цифровой обработки двумерных оптических изображений, по которым определялась трехмерная структура пузырьков, однако отмечено, что для крупных пузырьков полученная форма может отличаться от реальной. Поэтому современное

состояние описанной в проекте проблемы требует развития новых методов исследования характеристик газовых пузырьков и создаваемых ими потоков в жидкости.

В настоящее время авторами ведется разработка новых подходов и методов исследования процесса выноса поверхностно-активных веществ всплывающими в жидкости пузырьками газа.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант №18-38-00861 мол_а).

Список литературы:

- [1]. Г.С. Попкович, Б.Н. Репин, Системы аэрации сточных вод – М.:Стройиздат, 1986. – 133с.
- [2]. Krofta, L. K. Wang, L. L. Spencer, and J. Weber, Separation of algae from lake water by dissolved air flotation and sand filtration, Proceedings of the Water Quality and Public Health Conference, Worcester Polytechnic Institute, Worcester, MA, USA, pp. 103–110, 1983 (NTIS-PB83-219550).
- [3]. L.R. Van Vuuren, Dispersed air flocculation flotation for stripping of organic pollutants from effluents, Water Res. 2, 177–183 (1968).
- [4]. L. K. Wang, M. H. S. Wang, S. Yaksich, and M. L. Granstrom, Water treatment with multiphase flow reactor and cationic surfactants, 1978.
- [5]. L. K. Wang, N. K. Shammass, and Y. T. Hung (eds.). Advanced Biological Treatment Processes. The Humana Press, Totowa, NJ, 2006. — 696 p.
- [6]. Богданов О.С. Теория и технология флотации руд. 2-е изд. - М.: Недра, 1990. -363 с.
- [7]. А. В. Бялко, Ламинарные цепочки пузырьков: логарифмически точное решение. // Доклады Академии наук, 2011, том 436, № 6, с. 747–752.
- [8]. McGinnis, D. F., Greinert, Jens, Artemov, Yu., Beaubien, S. E. and Wuest, A. (2006) Fate of rising methane bubbles in stratified waters: How much methane reaches the atmosphere? Journal of Geophysical Research - Oceans, 111 . C09007. DOI 10.1029/2005JC003183.
- [9]. Русанов А.И., Левичев С.А., Жаров В.Т. Поверхностное разделение веществ: теория и методы. - Л.: Химия, 1981. - 184 с.
- [10]. Левич В.Г., Физико-химическая гидродинамика. – М.: Физматгиз, 1959. – 500с.
- [11]. Кафаров В.В. Основы массопередачи. Учебное пособие для ВУЗов. – М.: Высшая школа, 1972г. – 496с.
- [12]. Y.M. Lau, K. Thiruvalluvan Sujatha, M. Gaeni, N.G. Deen n, J.A.M. Kuipers, Experimental study of the bubble size distribution in a pseudo-2D bubble column Chemical Engineering Science 98(2013)203–211.
- [13]. С.А. Ермаков, И.А. Капустин, Т.Н. Лазарева, Р.Р. Калимулин Экспериментальное исследование трансформации гравитационно-капиллярных волн на течении, индуцированном пузырьковой пленкой // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2013. Т. 10. № 4. С. 298–307.
- [14]. Монин А.С., Яглом А.М., Статистическая гидромеханика, ч.1 и ч.2, - М.: «Наука», 1965 и 1967. – 640с. и 720с.
- [15]. Шлихтинг Г., Теория пограничного слоя. Перев.с нем.. – М.: «Наука», 1974. – 712с.
- [16]. Жаворонков Н.М., Малюсов В.А., Малафеев Н.А. Массопередача в процессе пленочной абсорбции.- Хим.пром-ть, 1951, № 8, с.240-245.
- [17]. Ермаков С.А. Влияние пленок на динамику гравитационно-капиллярных волн. ИПФ РАН. - Н. Новгород. 2010. - 163 с.
- [18]. Yoon R.H., Luttrell G.H. The effect of bubble size on fine particle flotation. Miner. Process. Extr. Metal. Rev. – 1989. – № 5. – P. 101-112.
- [19]. Makarov M. M., Muyakshin S. I., Kucher K. M., Aslamov I. A., Gnatovsky R. Y., Granin N. G. Bubble gas escapes from the bottom of Lake Baikal, dependence of gas flare height on methane flux // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2016. Т. 9, № 3. С. 32—41.
- [20]. Муякшин С. И., Заутер Э. Дистанционный акустический метод определения производительности подводного источника газовых пузырьков // Океанология. 2010. Т. 50, № 6. С. 1045—1051.

[21]. Bröder, D., Sommerfeld M., 2007. Planar shadow image velocimetry for the analysis of the hydrodynamics in bubbly flow. Meas.Sci.Technol.18, 2513–2528.

THE STATE OF STUDYING OF REMOVAL OF SURFACTANTS BY FLOATING GAS BUBBLES IN FLUID

Smirnova Maria Valerievna
Kapustin Ivan Alexandrovich
Leshchev Georgy Vladimirovich
Chizhikova Maria Nikolaevna

Keywords: bubble flow, surfactants, experimental methods

The current state of the problem of the study of the processes of removal of surfactants from the water column to the surface by floating gas bubbles in natural and technical systems is considered. It is shown that the existing methods of experimental study of bubble flows do not allow to estimate such parameters as the size of bubbles and gas content accurately enough. The authors develop new approaches and methods for the study of the process of removal of surfactants by floating gas bubbles in fluid.