

А. И. Барыбин

Донецкий национальный университет, г. Донецк

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИСПЕРСНОСТИ ПУЗЫРЬКОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПНЕВМАТИЧЕСКОГО СТРУЙНОГО АЭРАТОРА

Приведены результаты экспериментальных исследований дисперсности пузырьков при использовании промышленного образца пневматического аэратора, разработанного на кафедре «Физика неравновесных процессов, метрологии и экологии» ДонНУ. Выявлено, что при высоких начальных газосодержаниях ($\varphi_0 > 30\%$) дисперсность пузырьков будет находиться в пределах 2 мм, что позволяет отнести рассматриваемое устройство к среднепузырчатым. Установлено, что увеличение начального газосодержания φ_0 в газожидкостной струе выше 30–35 % приводит к образованию очень крупных пузырьков ($d = 1–5$ см).

Ключевые слова: аэрация сточных вод, пневматический аэратор, дисперсность пузырьков

Введение

Вода занимает особое место среди всех соединений, в смысле первостепенной ее важности, в самых разнообразных процессах и явлениях живой и неживой природы, а также в практическом использовании ее человеком [1]. Все большее значение приобретает проблема рационального использования воды и особенно очистки всевозрастающих объемов сточных вод.

Струйные аэраторы являются перспективным направлением развития устройств аэрации в системах очистки сточных вод. Основным преимуществом струйных аэраторов является их простота. При использовании в качестве рабочей жидкости воды, не содержащей механических примесей, они довольно надежны в работе. Ввод газожидкостной смеси в очистной резервуар в виде струи способствует предотвращению загрязнения биофильтров [2] и образованию как аэрированных, так и неаэрированных областей, что позволяет проводить процессы нитрификации и денитрификации в одном резервуаре при биологической очистке сточных вод [3]. Такой способ ввода газожидкостной смеси также дает возможность интенсифицировать очистку (особенно для флотационного процесса), что приводит к уменьшению размеров очистных сооружений и, соответственно, уменьшению потребности в земельных площадях.

К недостаткам струйных аэраторов относят, прежде всего, повышенный расход энергии [4] и то, что на расход засасываемого воздуха влияют давление рабочей жидкости и геометрические параметры аэратора [5].

Цель исследования

На кафедре «Физика неравновесных процессов, метрологии и экологии» физико-технического факультета ДонНУ разработан, запатентован и реализован в натуре пневматический аэратор [6], конструкция которого позволяет сохранить достоинства струйных аэраторов и, в то же время, позволяет избежать таких недостатков, как отсутствие зависимости расхода подаваемого газа от расхода жидкости и от геометрических параметров аэратора. Естественным образом возникает проблема определения параметров работы такого аэратора.

Основным технологическим параметром для характеристики работы большинства аэраторов является эквивалентный (средний) диаметр воздушных пузырьков или дисперсность пузырьков, которые показывают насколько эффективно воздух диспергирован в очистном резервуаре и определяет суммарную поверхность раздела фаз газ-жидкость. Таким образом, задача определения дисперсности пузырьков для разработанного пневматического аэратора является актуальной.

© Барыбин А. И., 2012

Аппаратура эксперимента и методика получения данных

Решение задачи исследования дисперсности пузырьков осуществлялось с привлечением фотографического метода. В соответствии с особенностями этого метода создан приближенный к натурному масштабу экспериментальный стенд (рисунок 1).

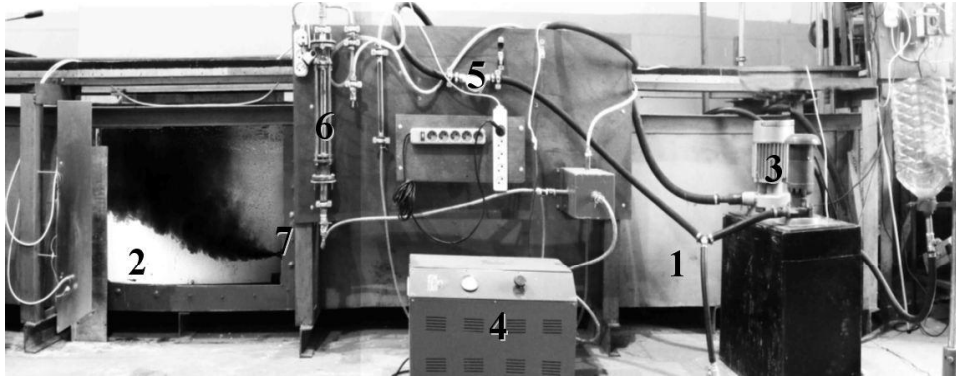


Рисунок 1 – Фотоснимок экспериментального стенда

Стенд представляет собой лоток 1, который выполнен в виде напольной емкости прямоугольной формы и предназначен для заполнения его внутренней полости водой. Лоток имеет следующие геометрические размеры: длина – 10 м, ширина – 1 м, высота – 1 м. В боковой стенке лотка смонтировано окно 2 размерами 0,95x0,65 м из технического органического стекла. Это позволяет производить визуальные наблюдения, фото или видеосъемку исследуемого течения.

Создание горизонтального струйного газожидкостного течения происходило следующим образом: в промышленный образец пневматического аэратора (на рисунке 2 не указан) электронасосом БЦ-1.1-18-У1.1 (3) и компрессором УК40-2М (4) подавалась вода и воздух соответственно. Расход воды контролируется расходомером СГВ-15 (5) и ротаметром РМ-2,5ГУЗ (6). В промышленном образце пневматического аэратора происходило образование газожидкостной пузырьковой смеси, которая через сопло 7 выходила в лоток. Подробно процесс формирования смеси и особенности конструкции пневматического аэратора описаны в [7].

Визуализация пузырьков осуществлялась с помощью так называемого светового «ножа», который позволяет выделять только небольшую по толщине плоскость течения.

Методика получения изображения визуализированных пузырьков состояла из следующих этапов:

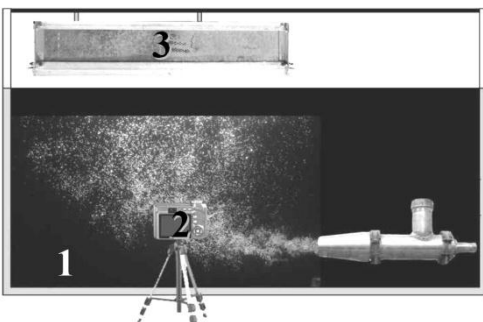


Рисунок 2 – Схема визуализации и фотографирования пузырьков

1. На заднюю стенку стенда для создания фона монтировался экран черного цвета 1 (рисунок 2).

2. Устанавливался требуемый режим расхода воды и воздуха.

3. Включался световой прибор 2, создающий световой «нож».

4. Для фотоаппарата 3 устанавливались соответствующие настройки выдержки, чувствительности и фокусировки и производилось фотографирование.

В результате предварительных экспериментов было установлено, что для получения наилучшего изображения пузырьков оптимальными являются наименьшее значение выдержки (10^{-3} с) и максимальное значение чувствительности (ISO 400).

Разработанный автором алгоритм масштабирования позволил по полученным фотоснимкам оценить дисперсность пузырьков в интересующей области течения. Для этого на фо-

тоснимок наносилась масштабная сетка с фиксированным размером ячейки (рисунок 3) и вручную производился подсчет количества пузырьков с диаметрами 1–4 мм.

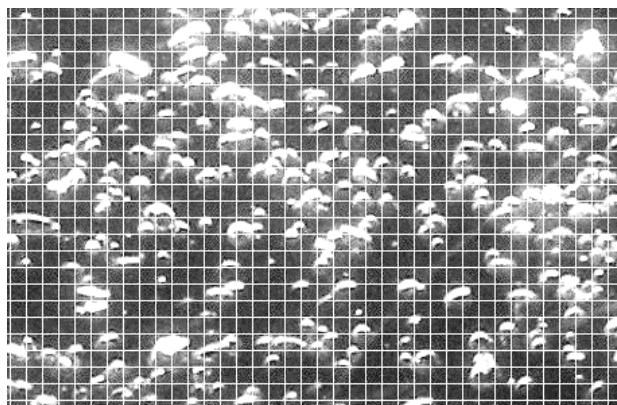


Рисунок 3 – Пример изображения произвольной области течения с нанесенной на нем масштабной сеткой 2x2 мм

Основными факторами при проведении эксперимента являлись расход воды $Q_{\text{вода}}$ и расход воздуха $Q_{\text{воздух}}$. На основании требований, предъявляемых к основными факторам (управляемость, непосредственное воздействие на объект, некоррелируемость) и возможностей контрольно-измерительной аппаратуры и аппаратуры для создания течения был предложен план проведения однофакторного эксперимента, в котором значения расхода воды остаются постоянными $Q_{\text{вода}} = 7,7 \text{ м}^3/\text{час}$, а расход воздуха выбран таким образом, чтобы обеспечить значения начального газосодержания $\varphi_0 = 5, 10, 20$ и 37% .

Результаты эксперимента

Для того, чтобы можно было количественно сравнивать количество пузырьков каждой фракции для разных режимов, был введен безразмерный параметр

$$n_i = \frac{n_{d_i}}{n_{d_2}} \cdot 100 \%, \quad (1)$$

где i – принимает значения 1, 2, 3, 4 соответствующие диаметрам пузырьков 1, 2, 3 и 4 мм;
 n_{d_i} – количество пузырьков для i -ой фракции данного режима.

Картина распределения n_i (таблица 1) показывает, что наибольшее количество пузырьков приходится на $d = 2$ мм практически для каждого режима. Исключение составляет лишь течение с $\varphi_0 = 5 \%$, для которого удельные количества пузырьков с $d = 1$ и 2 мм практически равны.

Таблица 1 – Зависимость n_i от начального газосодержания φ_0

$\varphi_0, \%$ \ $n_i, \%$	1	2	3	4
5	97	100	30	2
10	62	100	38	3
20	63	100	41	5
37	69	100	60	13

Однако при увеличении газосодержания становится существенным процесс коалесценции пузырьков, и приблизительно в два раза возрастает количество пузырьков с $d = 3$ и 4 мм и в 1,5 раза уменьшается количество пузырьков с $d = 1$ мм при увеличении φ_0 с 5 до 37 %.

Процесс коалесценции так же приводит к увеличению средних диаметров пузырьков (таблица 2).

Таблица 2 – Значения различных типов средних диаметров пузырьков

Средний диаметр, мм \ $\varphi_0, \%$	5	10	20	37
Арифметический	1,73	1,91	1,94	2,07
Поверхностный	1,88	2,05	2,09	2,24
Объемный	2,01	2,18	2,22	2,4
Объемно-поверхностный	2,32	2,45	2,5	2,73

Существенное увеличение диаметров пузырьков происходит при увеличении φ_0 с 5 до 10 % и при увеличении φ_0 с 20 до 37 %. При этом разница между размерами пузырьков при $\varphi = 10$ и 20 % практически отсутствует.

Примечательным является тот факт, что рост средних диаметров пузырьков при увеличении φ_0 с 5 до 37 % происходит всего лишь на 20 %, что можно объяснить появлением на границе струи при $\varphi_0 = 37$ % очень крупных пузырьков куполообразной формы с диаметрами от 1 до 5 см (рисунок 4).

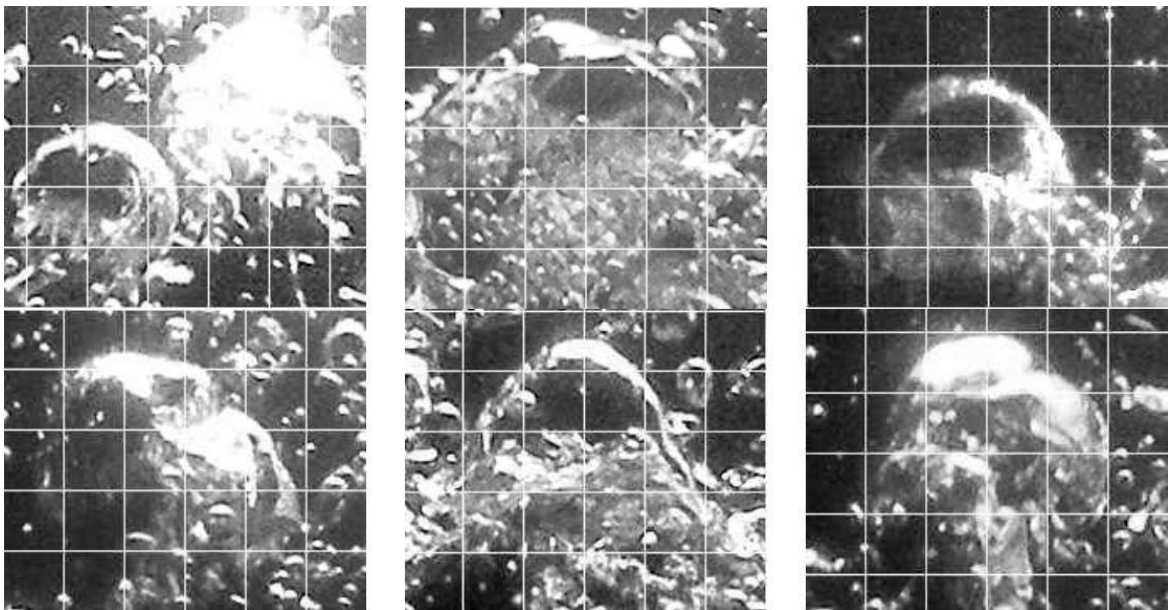


Рисунок 4 – Примеры фотоснимков крупных пузырьков, оторвавшихся от струи при $\varphi_0 = 37$ % (ячейка масштабной сетки имеет размеры 1x1 см)

Образование таких пузырьков, по-видимому, приводит к тому, что струя уже на начальной стадии развития теряет часть воздуха и газосодержание φ в струе падает по сравнению с φ_0 . Наблюдения показывают, что образование таких пузырьков может происходить даже в непосредственной близости от выходного сечения сопла.

Выводы

На основании всего вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. При высоких газосодержаниях ($\varphi_0 > 30\%$), которые характерны для работы аэратора на реальных очистных сооружениях, дисперсность пузырьков будет колебаться в пределах 2 мм, что позволит отнести рассматриваемое устройство к среднепузырчатым.
2. Увеличение начального газосодержания φ_0 в газожидкостной струе выше 30–35 % не будет приводить к соответствующему увеличению эффективности процесса очистки из-за потери части воздуха струи за счет образования очень крупных пузырьков.
3. Учитывая, что гидродинамика очистного резервуара при использовании струйных аэраторов подобна той, которая наблюдается при использовании пневматического аэратора, разработанного на кафедре «Физика неравновесных процессов, метрологии и экологии» ДонНУ (в обоих случаях в резервуаре распространяется горизонтальная газожидкостная струя), а также принимая во внимание, что размеры пузырьков воздуха при использовании струйных аэраторов практически постоянны (диаметр 2–4 мм) при различных глубинах погружения и типах эжекторов [8], можно распространить ограничение на верхний предел начального газосодержания φ_0 , равный 35 % на струйные устройства аэрации. Это позволит сократить энергозатраты при их использовании.

Список литературы

1. Комарова Л. Ф. Инженерные методы защиты окружающей среды. Техника защиты атмосферы и гидросферы от промышленных загрязнений: учебное пособие / Л. Ф. Комарова, Л. А. Кормина. – Барнаул, 2000. – 391 с.
Komarova L. F. Inzhenernyye metody zashchity okruzhayushchey sredy. Tekhnika zashchity atmosfery i gidrosfery ot promyshlennykh zagryazneniy: uchebnoye posobie (The engineering methods of environmental protection. The atmosphere and hydrosphere protection technique from industrial pollution: study guide) / L. F. Komarova, L. A. Kormina. – Barnaul, 2000. – 391 s.
2. Chang I. S. Air sparging of a submerged MBR for municipal wastewater treatment / I. S. Chang, S. J. Judd // Process Biochemistry. – 2002. – Vol. 37. – P. 915–920.
3. Whittaker A. Wastewater treatment: Advanced suspended growth technology / A. Whittaker // Filtration & Separation. – 2007. – Vol. 44. – № 9. – P. 19–21.
4. Черных С. И. Создание флотационных машин пневматического типа и опыт их применения на обогатительных фабриках / С. И. Черных. – М.: ЦНИИЭИ-цветмет, 1995. – 296 с.
Chernykh S. I. Sozdaniye flotatsionnykh mashin pnevmaticheskogo tipa i opyt ikh primeneniya na obogatitelnykh fabrikakh (Production of flotation machines of a pneumatic type and the experience of their use at the coal processing plants) / S. I. Chernykh. – М.: TSNIEI-tsvetmet, 1995. – 296 с.
5. Мещеряков Н. Ф. Кондиционирующие и флотационные аппараты и машины / Н. Ф. Мещеряков. – М.: Недра, 1990. – 237 с.
Mesheryakov N. F. Konditsioniruyushchiye i flotatsionnyye apparaty i mashiny (The conditioning and flotation apparatuses and machines) / N. F. Mesheryakov. – М.: Nedra, 1990. – 237 s.
6. Мещеряков Н. Ф. Флотационные машины и аппараты / Н. Ф. Мещеряков. – 2-ое изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1982. – 200 с.
Mesheryakov N. F. Flotatsionnyye mashiny i apparaty (The flotation machines and apparatuses) / N. F. Mesheryakov. – 2-oye izd., pererab. i dop. – М.: Nedra, 1982. – 200 s.
7. Пат. 43579 Україна, МПК2009 B03D 1/14, C02F 1/24. Пристрій для пневматичного насичення стічних вод бульбашками газу / О. І. Барибін; власник Донецький національний університет. – № u 2009 02271; заявл. 16.03.2009; опубл. 25.08.2009, Бюл. № 16.
Pat 43579 Ukrayina, MPK2009 B03D 1/14, C02F 1/24 Prystriy dlya pnevmatichnogo nasychnnya stichnykh vod bulbashkami gazu (Machine for sewage water saturation with gas bubbles) / O. I. Barybin; vlasnyk Donetskyi natsionalnyi universytet. – № u 2009 02271; zayavl. 16.03.2009; opubl. 25.08.2009, Byul. № 16.
8. Барыбин А. И. Конструкция пневматического аэратора сточных вод альтернативного эжекторным устройствам аэрации / Барыбин А. И. // Экология и промышленность. – 2010. – № 2. – С. 29–32.

Barybin A. I. Konstruktsiya pnevmaticheskogo aeratora stochnykh vod alternativnogo ezhektornym ustroystvam aeratsii (Sewage water pneumatic aerator construction being alternative to ejector aerator machines) / A. I. Barybin // *Ekologiya i promyshlennost.* – 2010. – № 2. – S. 29–32.

9. Попкович Г. С. Системы аэрации сточных вод / Г. С. Попкович, Б. Н. Репин. – М.: Стройиздат, 1986. – 136 с.
Popkovich G. S. Sistemy aeratsii stochnykh vod (Sewage water aeration systems) / G. S. Popkovich, B. N. Repin. – М.: Stroyizdat, 1986. – 136 s.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С. П. Висоцький, АДІ ДонНТУ.

Стаття надійшла до редакції 24.12.12

О. І. Барибін

Донецький національний університет, м. Донецьк

Експериментальне дослідження дисперсності бульбашок при використанні пневматичного струмінного аератора

Наведено результати експериментальних досліджень дисперсності бульбашок при використанні промислового зразка пневматичного аератора, що розроблений на кафедрі «Фізика нерівноважних процесів, метрології та екології» ДонНУ. Виявлено, що при високому початковому газовмісті ($\varphi_0 > 30\%$) дисперсність бульбашок буде знаходитись у межах 2 мм, що дозволяє віднести пристрій, що розглядається, до середньопузирчатих. Встановлено, що збільшення початкового газовмісту φ_0 в газорідному струмені вище 30–35 % призводить до утворення дуже великих бульбашок ($d = 1–5$ см).

АЕРАЦІЯ СТИЧНИХ ВОД, ПНЕВМАТИЧНИЙ АЕРАТОР, ДИСПЕРСНІСТЬ БУЛЬБАШОК

A. I. Barybin

Donetsk National University, Donetsk

Bubbles Dispersibility Experimental Analysis when Using Pneumatic Jet Aerator

Jet aerators are prospective trends of aerator machine development in the sewage purification systems. The pneumatic aerator has been developed, patented and put into action at the Physics of Non-Equilibrium Processes, Metrology and Ecology Department of Physics and Technology Faculty of Donetsk National University. The design of the pneumatic aerator allows to keep the advantages of jet aerators as well as to avoid such disadvantages as the absence of dependence of gas consumption on fluid consumption and aerator geometric parameters. Naturally, there is a problem of parameters determination of such aerator operation.

The main technological parameter for operation of most aerators is equivalent (mean) diameter of air bubbles or bubbles dispersibility which show how effectively the air is dispersed in the cleaning cistern and determine the gas-liquid phase boundary surface area. Therefore, the bubbles dispersibility definition for the developed pneumatic aerator is a relevant task.

The task solution of bubbles dispersibility analysis has being made with the help of the photographic method. The experimental results show that for high level of gas-bearing capacities ($\varphi_0 > 30\%$) which are typical for aerator operation at the sewage disposal plants the bubbles dispersibility will range within 2 mm which allows to refer the considered machine to the middle-sized bubble ones. In the same time the increase of initial gas-bearing capacity level φ_0 over 30–35 % in the gas-liquid jet will not result in the relevant increase of purification process efficiency from loss of the jet air part due to very large bubbles formation ($d = 1–5$ cm).

SEWAGE AERATION, PNEUMATIC AERATOR, BUBBLES DISPERSIBILITY