

Исследование процесса диспергирования водовоздушной смеси, генерируемой эжекционной системой аэрации

06, июнь 2015

Антонова Е. С.^{1,*}

УДК: 628.54:532

¹Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

[*kotant@mail.ru](mailto:kotant@mail.ru)

Введение

Существует множество технологических процессов, в которых используются системы аэрации, причём для оптимального протекания таких процессов необходимо получать и поддерживать определённые гидродинамические параметры. Например системы аэрации используются при очистке сточных вод, при этом эффективность очистки зависит от гидродинамического режима и таких параметров как интенсивность аэрации и размеры генерируемых пузырьков. При выборе системы аэрации следует учитывать такие показатели как возможность получения требуемых параметров, надёжность, энергоэффективность.

Аэрирование воды при помощи эжекторных устройств получило широкое распространение благодаря простоте их конструкции, высокой надёжности, экономичности применения. Эжектор является типом двухфазного струйного аппарата. В проточной части этого устройства происходит смешение струй, находящихся в разных фазовых состояниях, с образованием смеси, полное давление которой превышает полное давление одной из фаз, т. е. полное давление смеси на выходе больше полного давления газообразного компонента, но меньше полного давления жидкости на входе в эжектор. При этом активным рабочим телом является жидкость, а пассивным — газ. Таким образом, аэрирование эжектором основано на использовании энергии рабочей жидкости, движущейся линейно со скоростью порядка 15-17 м/с через сопло, имеющее определённую форму и размеры, для получения перепада давления, создающего эжекцию газовой или жидкой фазы [4, 5].

Многие технологические процессы с использованием эжекторов для аэрирования воды требуют высокую интенсивность аэрации, что достигается повышением значения газосодержания (отношения расхода воздуха к расходу воды) и генерирование тонкодисперсных пузырьков диаметром менее 500 мкм. Однако, согласно результатам экспериментальных исследований, представленных в работах [1-3, 6, 9] можно сделать вывод, что при повышении газосодержания, происходит увеличение размера пузырьков, что в ряде случаев имеет негативные последствия для реализуемых процессов. Так, крупные пузырьки, обладающие высокими скоростями всплытия, оказываются в непосредственной близости от

эжектора. В связи с этим не происходит их равномерного распределения по всему объёму аэрируемой жидкости.

Для лучшего диспергирования водовоздушной смеси применяются как усовершенствованные конструкции самих эжекторов, так и специальные устройства диспергирования. На основе данных [1-3, 7, 9-16], проведено сравнение различных технологий получения тонкодисперсных пузырьков (табл. 1).

Таблица 1. Сравнительные характеристики способов диспергирования при эжекционноаэрировании

№	Название	Принцип диспергирования	Диаметр пузырька, мкм	Преимущества	Недостатки
1	Эжектор (простой конструкции)	Распад струи при критических режимах за счёт повышенной турбулизации потока	1000-1500	Простота метода Экономичность	Пузырьки больших размеров
2	Эжектор Вентури	В расходящейся части трубы Вентури создаётся ударная волна и пузырьки под воздействием давления разрушаются	70-100	Оптимальный размер получаемых пузырьков	Усложнение конструкции
3	Генератор микропузырьков с завихрением потока	Распад струи, вызванный закручиванием потока и разностью скоростей потоков в разных частях камеры смешения	10-50	Оптимальный размер получаемых пузырьков	Усложнение конструкции
4	Генератор микропузырьков со сферическим телом	высокая турбулизация потока воды	120-490	Низкое энергопотребление, малые производственные затраты	Пузырьки больших размеров
5	Генератор микропузырьков с пористой трубой	Прохождение через пористую трубу, создание высокой турбулизации потока	10-50 (60 %)	Оптимальный размер получаемых пузырьков	Пузырьки больших размеров; сложность конструкции
6	Электрогидродинамический диспергатор	комбинация центробежного и электрического полей	190	Позволяет уменьшить эквивалентный диаметр содержащихся в воде пузырьков в 1,2-2,4 раза	Недостаточная степень диспергирования Сложность конструкции
7	Статический смеситель	многократная перестройка поля скоростей и изменение направления линий тока смешиваемых компонентов, при этом достигается значительное увеличение поверхности раздела и происходит диспергирование	30-80	Оптимальный размер получаемых пузырьков	Зависимость диаметра пузырьков от расхода воды и воздуха, что накладывает определённые ограничения
8	Ультразвуковой гидродинамический диспергатор	Воздействие ультразвука	менее 100	Оптимальный размер получаемых пузырьков	Сложность технологии

Из представленных в таблице данных видно, что изменение конструкции эжектора и установка специальных устройств диспергирования позволяет в ряде случаев получить требуемые размеры пузырьков. Однако, следует отметить ряд недостатков, в частности сложность некоторых технологий, недостаточная степень диспергирования, достижение требуемых параметров только при определённых настройках системы. Таким образом, проблема диспергирования водовоздушной смеси является актуальной, но требует дальнейшего изучения этого процесса и разработки наиболее оптимальных решений.

1. Предлагаемая технология диспергирования

С целью обеспечения требуемых параметров при использовании эжекционной системы аэрации и устранения недостатков существующих технологий предлагается применение оригинального устройства диспергирования [8], представленного на рис. 1. Диспергатор выполнен в виде полого тела 1 с рифлёной поверхностью с нарифлениями в виде полуцилиндрических стержней 2 перпендикулярно которым расположен щелевой элемент 4. При этом нарифления выполняют как на внутренней так и на внешней стороне полого тела, которое может быть выполнено в виде цилиндра или усеченного конуса с углом конусности $10...60^\circ$. Полое тело может располагаться на подвижной платформе 3 и при этом щелевой элемент располагается тангенциально к поверхности диспергатора. Водовоздушная смесь, полученная в эжекторе 5, проходит через щелевой элемент 4 и попадает на нарифления диспергатора в виде полуцилиндрических стержней 2, установленных на поверхности полого тела 1. При контакте водовоздушной смеси и в первую очередь газовой фазы с нарифлениями происходит её диспергирование до мельчайших пузырьков.

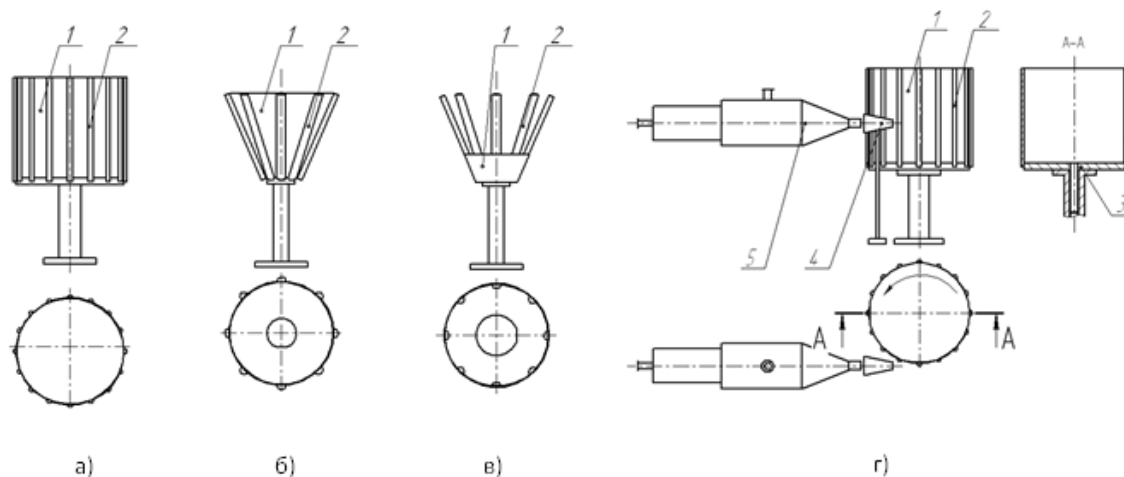


Рис. 1. Варианты конструкции диспергатора. 1 — полое тело; 2 — полуцилиндрические стержни; 3 — подвижная платформа; 4 — щелевой элемент; 5 - эжектор; а - диспергатор цилиндрической формы с нарифлениями снаружи на неподвижной платформе; б - диспергатор конической формы с нарифлениями снаружи на неподвижной платформе; в - диспергатор конической формы с нарифлениями внутри на неподвижной платформе; г - диспергатор цилиндрической формы с нарифлениями снаружи на подвижной платформе

2. Материалы и методы

Для исследования процесса генерирования пузырьков эжекционной системой аэрации и их диспергирования предлагаемым способом была собрана лабораторная установка рис 2. В ходе эксперимента проведено наблюдение за пузырьками, определены размеры пузырьков, получено качественное сравнение параметров аэрации без и с использованием диспергатора.

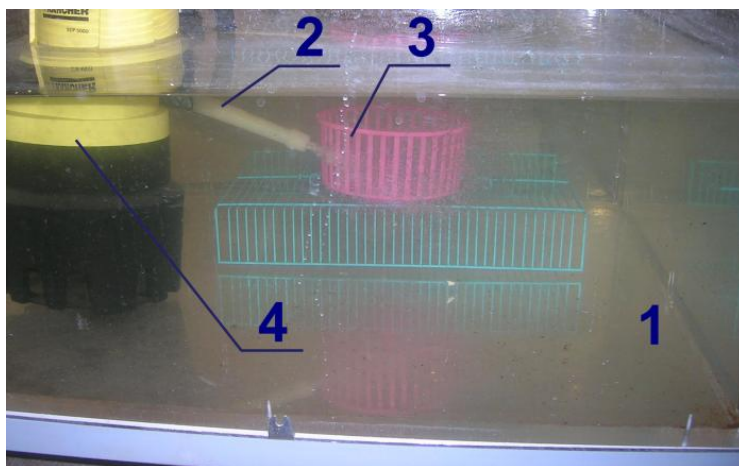


Рис. 2. Лабораторная установка с диспергатором 1 — камера аэрации; 2 — эжектор; 3 — диспергатор; 4 — погружной насос

Фиксирование пузырьков для определения их размеров проводилось при помощи USB-микроскопа на установке рис. 3.

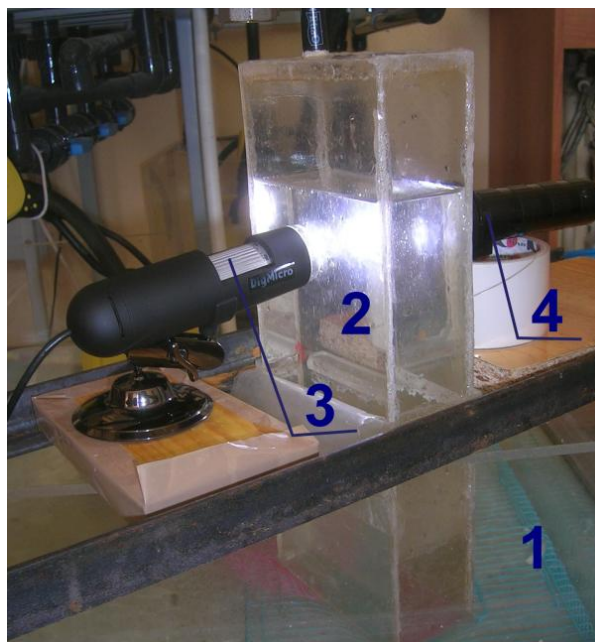


Рис. 3. Установка исследования параметров аэрации 1 — камера аэрации; 2 — ёмкость; 3 — USB-микроскоп; 4 — источник света

На камере аэрации 1 закреплена небольшая прозрачная ёмкость 2, частично погружённая в воду. С одной стороны ёмкости 2 помещён USB-микроскоп 3, а с противоположной стороны напротив микроскопа — источник света 4.

3. Эксперимент

Все эксперименты проводились при постоянном режиме: расходе воды 340-360 л/ч и расходе воздуха 50 л/ч. Фиксирование пузырьков без и с использованием диспергатора проводилось в одном и том же месте камеры аэрации.

На рис. 4 показан вид струи водовоздушной смеси на выходе из эжектора.



Рис. 4. Струя водовоздушной смеси на выходе из эжектора

При этом наблюдается достаточно большое количество пузырьков диаметром от 800 мкм до 1,5 мм. Микропузырьков диаметром менее 500 мкм зафиксировано не было. На рис. 5 представлена фотография пузырьков, генерируемых в данной установке.

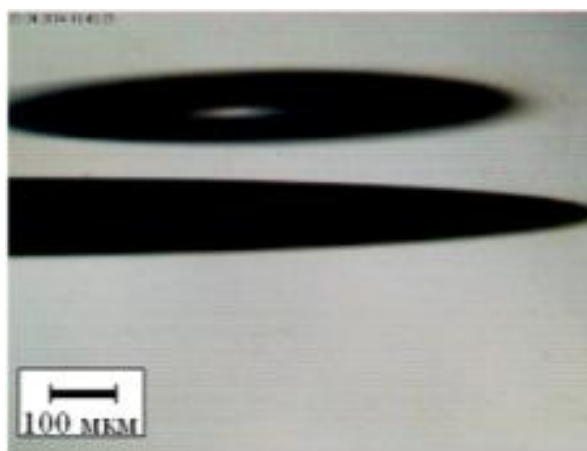


Рис. 5. Фотография пузырьков, генерируемых эжекционной системой аэрации

После установки диспергатора количество микропузырьков значительно увеличилось. Вид струи при контакте с нарифлениями показан на рис. 6.



Рис. 6. Контакт струи рабочей жидкости с диспергатором

На рис. 7 представлена фотография пузырьков после прохождения через диспергатор.

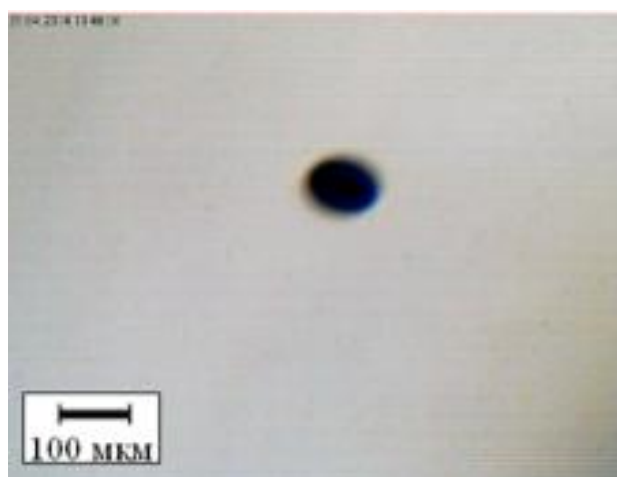


Рис. 7. Фотография пузырьков после прохождения через диспергатор

Результаты

При обработке изображений, полученных с помощью USB-микроскопа было установлено, что после установки диспергатора количество пузырьков с диаметром 50-100 мкм значительно увеличилось, большинство пузырьков после контакта с диспергатором имеют диаметры 30–300 мкм, причём на диапазон 30-110 мкм приходится 35 % пузырьков. Количество пузырьков диаметром более 500 мкм уменьшилось.

На рис. 8 представлена гистограмма распределения диаметров пузырьков, на которой число под столбцом указывает левую границу диапазона, а по оси ординат — процентное содержание пузырьков, попавших в данный диапазон от общего числа пузырьков.

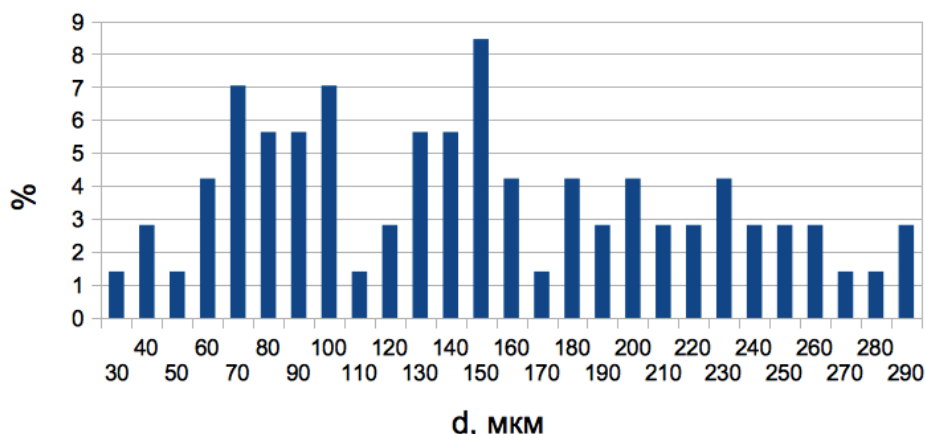


Рис. 8. Распределение диаметров пузырьков

При проведении эксперимента было установлено:

1. Большинство пузырьков, генерируемых эжекционной системой аэрации, имеют диаметры 1 мм и более, при этом их всплытие происходит в близости от эжектора, что приводит к неравномерности интенсивности аэрации во всём объёме камеры аэрации.

2. Использование предлагаемого диспергатора позволяет получать больше тонкодисперсных пузырьков с размерами 30-300 мкм, причём пузырьки с диаметрами 30-110 мкм составляют примерно 35 % от общего количества тонкодисперсных пузырьков. Количество крупных пузырьков диаметром более 500 мкм снизилось.

3. При увеличении количества микропузырьков наблюдалось их более равномерное распределение во всём объёме камеры аэрации.

Таким образом предлагаемый способ диспергирования позволяет получать тонкодисперсные пузырьки требуемых диаметров. Ряд преимуществ перед аналогами, такие как простота реализации, универсальность, снижение энергозатрат позволяют применять его для разнообразных процессов, например для флотационной очистки воды.

Список литературы

1. Алексеева Т.В. Разработка технологии очистки замазученных сточных вод ТЭЦ с использованием метода безнапорной флотации: дис. ... канд. техн. наук. Пенза. 2003. 126 с.
2. Гришин Л.Б. Совершенствование очистки нефтесодержащих производственных сточных вод: дис. ... канд. техн. наук. Пенза. 2009. 144 с.
3. Chen Fu-tai, Peng Feng-xian, Wu Xiao-qing, Luan Zhao-kun. Bubble performance of a novel dissolved air flotation (DAF) unit // Journal of Environmental Sciences. Vol. 16. №1. 2004. P. 104-107.
4. Воронов Ю.В, Казаков В.Д., Толстой М.Ю. Струйная аэрация. М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов. 2007. 216 с.

5. Цегельский В.Г. Двухфазные струйные аппараты. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2003. 408 с.
6. Долгов Д.В. Исследование и разработка технологии рационального использования нефтяного газа низкого давления: автореферат дис. ... канд. техн. наук. Тюмень: 2009. 21 с.
7. Максимова С.В. Совершенствование систем аэрации сооружений биологической очистки сточных вод с использованием вихревых эрлифтных устройств: дис. ... канд. техн. наук. Пенза. 2006. 135 с.
8. Ксенофонов Б.С., Антонова Е.С. Флотационная машина для очистки сточных вод. Патент на полезную модель № 149273. Российская Федерация. / Патентообладатель: Ксенофонов Б.С. 2014. Бюл. № 36. 5 с.
9. Rykaart E.M., Haarhoff J. Behaviour of air injection nozzles in dissolved air flotation. // Water Science and Technology. 1995. Vol. 31. № 3. P. 25-35.
10. Fernanda Yumi Ushikubo. Fundamental Studies on the State of Water with the Generation of Micro and Nano-bubbles. A dissertation of Doctor of Philosophy. Tokyo. 2010. 112 p.
11. Ohnari Hirofumi. Swing type fine air bubble generating device. U.S. Patent 7,261,283 B1. Application Number: 09/743,531. Issued: August 28, 2007. 11 p.
12. Kawamura Takafumi, Akiko Fujiwara, Takahito Takahashi, Hiroharu Kato, Youichiro Matsumoto, Yoshiaki Kodama. The effects of the bubble size on the bubble dispersion and skin friction reduction. Proceedings of the 5th Symposium on Smart Control of Turbulence. (February 29-March 2). The Univ. of Tokyo. Tokyo, Japan. 2004. P. 145-151.
13. Aura Tec Co, Toshihiko Yahiro. Micro-bubble generating nozzle and application device therefor. / Toshihiko Yahiro. World Intellectual Property Organization. Japan (JA). Patent № WO/2001/036105 A1. Int. Application № PCT/JP2000/008010. Issued: 25.05.2001. 11 p.
14. Sadatomi Michio, Kawahara Akimaro, Matsuura Hidetoshi, Shikatani Shinji. Micro-bubble generation rate and bubble dissolution rate into water by a simple multi-fluid mixer with orifice and porous tube. // Experimental Thermal and Fluid Science. Publisher: Elsevier. September. 2012. Vol 41. P. 23-30. DOI: 10.1016/j.expthermflusci.2012.03.002
15. Akimi Serizawa, Tomohiko Inui, Toshihiko Yahiro, Zensaku Kawara. Laminarization of micro-bubble containing milky bubbly flow in a pipe. / 3rd European-Japanese Two-Phase Flow Group Meeting. (Certosa di Pontignano, Italy. 21-27 September 2003). 2003. 8 p. Пе-жим доступа: <http://aura-tec.com/pdf/03-milky.pdf> (Дата обращения: 5.06.2015)
16. Koichi Terasaka, Ai Hirabayashi, Takanori Nishino, Satoko Fujioka, Daisuke Kobayashi. Development of microbubble aerator for waste water treatment using aerobic activated sludge. // Chemical engineering science. February. 2011. Vol. 66. № 14. P. 3172-3179. DOI: 10.1016/j.ces.2011.02.043