



**УДК 628.356**

**А.И. БАРЫБИН**, младший научный сотрудник

Донецкий национальный университет, г. Донецк

## КОНСТРУКЦИЯ ПНЕВМАТИЧЕСКОГО АЭРАТОРА СТОЧНЫХ ВОД, АЛЬТЕРНАТИВНОГО ЭЖЕКТОРНЫМ УСТРОЙСТВАМ АЭРАЦИИ

В статье предлагается концепция нового устройства для пневматической аэрации сточных вод, которое является альтернативным эжекторным устройствам аэрации. Описывается реализованный вариант устройства для лабораторных модельных экспериментов и приводятся некоторые экспериментальные результаты.

**эжекторные аэраторы, пневматическая аэрация**

Аэрация – насыщение воды воздухом (кислородом) с целью осуществления различных технологических процессов [1] – используется для флотационного разделения полезных ископаемых, извлечения ионов и молекул из растворов, флотационной очистки сточных вод, введения кислорода в процессы ферментации и биологической очистки природных, промышленных и бытовых вод. Широко применяется аэрация в различных химических процессах, защите побережий от загрязнений нефтью, для предотвращения замерзания водной поверхности рек, озер и морей, защиты морских сооружений от ударов волн и во многих других случаях. Процесс аэрации

является неотъемлемой составляющей большинства технологий очистки сточных вод, на него приходится 45–75 % всей энергии, расходуемой на очистку. С момента возникновения и до наших дней развитие технологии аэрации сточных вод носит эволюционный характер, поэтому разработка новых конструкций аэраторов является актуальной задачей.

Одним из перспективных направлений в аэрации сточных вод является использование эжекторных аэраторов [2, 3]. Аэрирование эжекторами основано на использовании энергии рабочей жидкости, движущейся линейно с большой скоростью через сопло определен-

ной формы и размеров [4]. За счет этого в эжекторах за короткое время происходит образование большого количества новой межфазной поверхности [5]. Существует множество эжекторов с различной геометрией и режимами работы [6], однако в любом случае они имеют сопло для пропускания рабочей жидкости, патрубок или отверстие для вовлечения воздуха, камеру смешения и диффузор [7].

Эжекторы рекомендуется применять для очистки хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод в аэротенках производительностью до 1000 м<sup>3</sup>/сут, а также для аэрации воды в естественных водоемах, обезжелезивания воды и других целей [7]. В мире функционирует более 2000 очистных сооружений, использующих эжекторные аэраторы [8].

Рассматриваемому типу аэраторов присущи как достоинства, так и недостатки. Основным преимуществом эжекторов является их простота. При использовании в качестве рабочей жидкости воды, не содержащей механических примесей, они довольно надежны в работе. Использование эжекторных аэраторов способствует образованию как аэрированных, так и неаэрированных областей, что, в свою очередь, позволяет проводить процессы нитрификации и денитрификации в одном резервуаре [8]. Аэрация рассматриваемыми устройствами позволяет существенно увеличить значение  $\alpha$ -фактора (отношения коэффициента массопереноса кислорода из пузырька в рабочую и в чистую жидкость) за счет высокой степени турбулизации течения, образующегося в результате работы аэратора. Высокая степень перемешивания при использовании эжекторов позволяет интенсифицировать очистку (особенно для флотационного процесса), что приводит к возможности уменьшения размеров очистных сооружений и, соответственно, к уменьшению потребности в земельных площадях.

К недостаткам этих аэраторов относят, прежде всего, повышенный расход энергии [7].

На расход подсосываемого воздуха влияют давление рабочей жидкости и геометрические параметры эжектора [1], детали которого необходимо изготавливать с высокой точностью, так как, согласно экспериментальным данным, в случае смещения осей отверстий сопла и горловины всего на 0,5 мм расход подсосываемого воздуха снижается на 20–30% [9]. Кроме того, необходимо учесть, что основным технологическим параметром для расчета большинства аэраторов является эквивалентный (средний) диаметр воздушных пузырьков, определяющий площадь поверхности контакта фаз [2]. Некоторые авторы утверждают, что размеры пузырьков воздуха практически постоянны (диаметр 2–5 мм) при различных глубинах погружения и типах эжекторов [2]. Однако в большинстве

случаев размер пузырьков зависит от расхода жидкости и особенностей конструкции аэратора [1]. Контроль диспергированности воздуха в жидкости является достаточно трудной задачей, для решения которой необходимо обращаться к экспериментальному определению эквивалентного диаметра пузырьков.

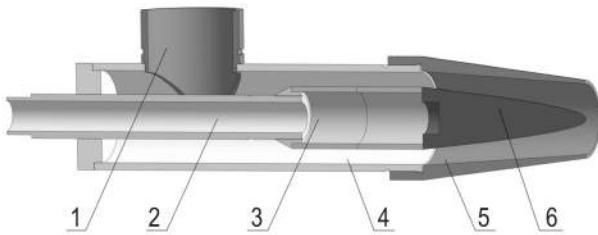
Вышеперечисленные недостатки на сегодняшний день мешают повсеместному распространению эжекторных систем аэрации, исходя из чего была поставлена задача создать такое устройство насыщения сточных вод воздушными пузырьками, которое сохраняло бы преимущества и было бы лишено недостатков эжекторных аэраторов.

Поставленная задача решалась путем использования пневматического метода диспергации, так как пневматическая аэрация является одним из самых распространенных и простых методов аэрации [10]. Рассмотрим основные предположения, касающиеся пневматической аэрации, которые позволяют устранить некоторые недостатки эжекторного способа аэрации.

В отличие от эжекторных устройств, в случае пневматической аэрации существует большое количество диспергирующих материалов, для которых диаметр образующихся пузырьков является величиной известной – в целом дисперсность пузырьков, образующихся при использовании пневматического метода, находится в диапазоне 0,1–5 мм, т.е. более широком, чем в эжекторных устройствах.

Известно, что для устранения некоторых из недостатков, свойственных пневматической аэрации (необходимость периодической очистки пневмоэлементов, уменьшение  $\alpha$ -фактора в процессе функционирования [10]), используется интенсификация процесса аэрации, основанная на том, что поток воды срывает пузырек воздуха с поверхности пористого диспергатора прежде, чем пузырек примет значительные размеры и сольется с другими [2]. Именно эта техническая идея, основанная на образовании газожидкостного струйного течения путем сноса с поверхности диспергирующего элемента образующихся пузырьков потоком рабочей жидкости и последующего истечения газожидкостной смеси из сопла, положена в основу предлагаемого устройства пневматического насыщения воды пузырьками газа (рис. 1).

Устройство для пневматического насыщения воды пузырьками газа состоит из патрубка для подвода рабочей жидкости 1 и патрубка для подвода газа 2, втулки (втулок) из пористого материала 3, которые установлены соосно с корпусом 4, и выпускной насадки 5 для вывода газожидкостной смеси в очистной резервуар. Для того, чтобы после входа рабочей жидкости в выпускную насадку не было резкого перепада давления, к втулке



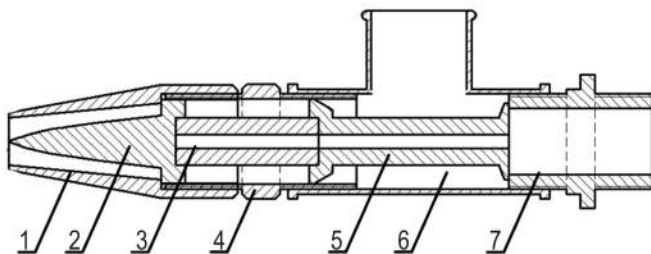
**Рисунок 1 – Принципиальная схема пневматического аэрата:**

- 1 – патрубок для подвода рабочей жидкости; 2 – патрубок для подвода газа; 3 – втулка (втулки) из пористого материала;
- 4 – корпус; 5 – выпускная насадка; 6 – конус

(втулкам) 3 присоединен конус 6. Количество втулок 3 может изменяться в зависимости от необходимой степени насыщения воды пузырьками газа.

Устройство работает следующим способом. Газ с помощью компрессора подается через патрубок 2 на внутреннюю поверхность втулки (втулок) из пористого материала 3. На внешней поверхности втулки (втулок) 3 образуются пузырьки, которые сносятся рабочей жидкостью, подаваемой с помощью насоса через патрубок 1 в корпус 4. Газожидкостная смесь, которая образуется в зазоре между внутренней поверхностью корпуса 4 и внешней поверхностью втулки (втулок) 3 попадает через кольцевой зазор между поверхностью конуса 6 и внутренней поверхностью выпускной насадки 5 в очистной резервуар в виде струи. На предложенное устройство получен патент на полезную модель.

В соответствии с принципиальной схемой (рис. 1) был спроектирован и реализован лабораторный модуль газонасыщения (рис. 2). В качестве пористого элемента использовалась одна втулка из пористого титана.



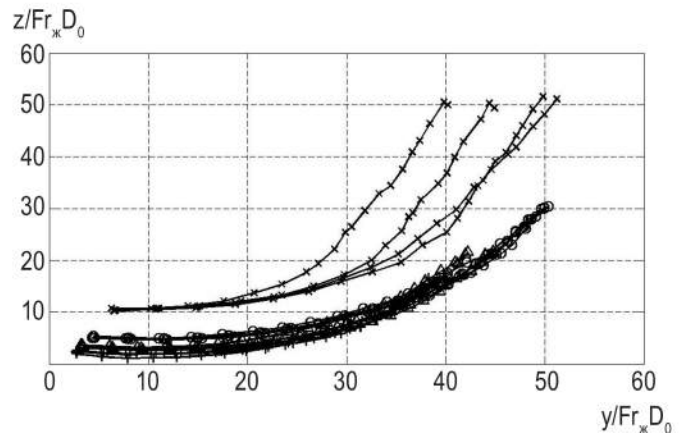
**Рисунок 2 – Лабораторный модуль газонасыщения в разрезе:**

- 1 – сопло; 2 – направляющий конус; 3 – втулка из пористого титана; 4 – сгон; 5 – воздухоподводящая трубка; 6 – тройник;
- 7 – поджимной сгон

Данный модуль успешно использовался для создания газожидкостных турбулентных струйных течений, подобных тем, которые образуются при эжекторном спо-

собе аэрации сточных вод. В результате экспериментальных исследований установлены гидродинамические и аэрационные особенности процесса горизонтального истечения газожидкостной смеси из сопла.

Важнейшим параметром аэрации является аэрируемый объем. Двумерный аналог этого параметра – зона аэрации. Установлено, что траектории нижней границы зоны аэрации (рис. 3) при значениях числа Фруда  $0,67 < Fr_{ж} < 1,22$  совпадают. Число Фруда  $Fr = u_0 / (g D_0)^{1/2}$ , где  $u_0$  – скорость истечения жидкости, м/с;  $D_0$  – диаметр сопла, м. При известных значениях  $Fr_{ж}$  можно вычислять координаты нижней границы зоны аэрации.



**Рисунок 3 – Траектория нижней границы зоны аэрации в безразмерных координатах:**

- x –  $Fr_{ж} = 0,40$ ; o –  $Fr_{ж} = 0,67$ ; Δ –  $Fr_{ж} = 0,95$ ; + –  $Fr_{ж} = 1,22$

Одним из параметров, характеризующих перемешивание в очистном резервуаре, является интенсивность турбулентности  $\epsilon$  (отношение среднеквадратичного значения мгновенных скоростей к средней скорости). Установлено, что в отличие от однофазных струй, в которых  $\epsilon$  достигает 20 %, для двухфазной струи характерно наличие областей с  $\epsilon$  до 40 %. Причем эти области находятся вне границы непосредственно двухфазного течения, что, очевидно, способствует лучшему перемешиванию сточных вод в неаэрируемых зонах очистного резервуара.

## ВЫВОДЫ

В вышеописанном устройстве сохранены преимущества эжекторных аэраторов (высокая интенсивность турбулентности, простота конструкции), общая картина истечения газожидкостной смеси из сопла идентична эжекторам. При этом за счет использования пневматической дисперсии газа устранены недостатки, присущие эжекторным аэраторам: расход газа не зависит от расхода жидкости, что позволяет получать значения га-

зосодержания в широких пределах. Использование различных по размерам отверстий (пор) диспергаторов позволяет контролировать дисперсность газовой фазы в пределах 0,1–5 мм – в отличие от эжекторов, для которых дисперсность составляет 2–5 мм. Кроме того, предложенная конструкция позволяет уменьшить вероятность закупорки отверстий (пор) диспергирующего элемента за счет высокой степени турбулентности течения, обтекающего элемент. Однако остается открытым вопрос об одном из важнейших технологических параметров оценки работы аэраторов, которым является отношение окислительной способности к потребляемой мощности, обычно называемое эффективностью аэрации [2]. Поэтому окончательные выводы о применимости данного аэратора могут быть сделаны только после его испытаний в реальных условиях, когда наряду с уточнением технологических параметров будут установлены его эксплуатационная надежность, влияние на структуру активного ила, характер пенообразования и другие особенности работы.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мещеряков, Н.Ф. Кондиционирующие и флотационные аппараты и машины / Н.Ф. Мещеряков. – М.: Недра, 1990. – 237 с.
2. Попкович, Г.С. Системы аэрации сточных вод / Г.С. Попкович, Б.Н. Репин. – М.: Стройиздат, 1986. – 136 с.
3. Сивак, В.М. Аэраторы для очистки природных и сточных вод / В.М. Сивак, Н.Е. Янушевский. – Л.: Вища школа, 1984. – 124 с.
4. Бедрань, Н.Г. Эжекторная флотационная машина / Н.Г. Бедрань, А.П. Жердинский. – М.: Стройиздат, 1962. – 43 с.
5. Balamurugan, S. Hydrodynamic characteristics of gas-liquid ejectors / S. Balamurugan, V.G. Gaikar, A.W. Patwardhan // Chemical Engineering Research and Design. – 2006. – Vol. 84. – P. 1166–1179.
6. Balamurugan, S. Effect of ejector configuration on hydrodynamic characteristics of gas-liquid ejectors / S. Balamurugan, V.G. Gaikar, A.W. Patwardhan // Chemical Engineering Science. – 2008. – Vol. 63. – P. 721–731.
7. Черных, С.И. Создание флотационных машин пневматического типа и опыт их применения на обогатительных фабриках / С.И. Черных. – М.: ЦНИИЭИцветмет, 1995. – 296 с.
8. Whittaker, A. Wastewater treatment: Advanced suspended growth technology / A. Whittaker // Filtration & Separation. – 2007. – Vol. 44, № 9. – P. 19–21.
9. Копылов, В.А. Очистка сточных вод и уплотнение осадков целлюлозно-бумажного производства / В.А. Копылов. – М.: Лесная промышленность, 1983. – 124 с.
10. Rosso, D. Surfactant effects on a-factors in aeration systems / D. Rosso, M.K. Stenstrom // Water Research. – 2006. – Vol. 40. – P. 1397–1404.

*Поступила в редакцию 14.09 2009*

У статті запропоновано концепцію нового приладу для пневматичної аерації стічних вод, який є альтернативним ежекторним приладам аерації. Описано реалізований варіант приладу для лабораторних модельних експериментів та наводяться деякі експериментальні результати.

The article proposes the conception of new device for waste water pneumatic aeration that is alternative to ejection aeration devices. Some specificities of the proposed device's geometry are examined. The realized design of the device for laboratory model experiments and nature experiments is describe.