

УДК 628.1/621.762

## АЭРАЦИЯ ВОДЫ ТРУБЧАТЫМИ И ПЛОСКИМИ ПОРИСТЫМИ АЭРАТОРАМИ

**В. В. Савич, А. М. Тарайкович, Р. П. Голодок, Д. Ю. Вербицкий**

*Государственное научное учреждение «Институт порошковой  
металлургии имени академика О. В. Романа», г. Минск,  
Республика Беларусь*

*Отмечено, что в технологии очистки воды важную роль играют биохимические и физико-химические методы, в которых решающее значение имеют процессы тонкой диспергации газовой фазы (воздуха, кислорода, озонородной смеси и других газов) в воде с использованием аэраторов разных типов и конструкций. При очистке питьевой воды аэрация способствует удалению гидроксида железа, свободной углекислоты и сероводорода, а озонирование дополнительно обеззараживает и улучшает качество воды.*

*Приведено сравнение технико-экономической эффективности очистки воды при использовании для ее насыщения газом пористых трубчатых и плоских аэраторов.*

**Ключевые слова:** аэратор, аэротенк, озонирование, диспергация, пористость, титан.

## WATER AERATION WITH TUBULAR AND FLAT POROUS AERATORS

**V. V. Savich, A. M. Taraikevich, R. P. Golodok, D. Yu. Verbitsky**

*Institute of Powder Metallurgy named after Academician O. V. Roman,  
Minsk, the Republic of Belarus*

*The main objective of this work is to compare the technical and economic efficiency of water purification when using porous tubular and flat aerators to saturate it with gas. Biochemical and physico-chemical methods play an important role in water purification technology, in which the processes of fine dispersion of the gas phase (air, oxygen, ozone-air mixture and other gases) in water using aerators of various types and designs play a decisive role. Air dispersion is used to ensure the vital activity of microorganisms that mineralize organic substances and other pollutants dissolved in wastewater, as well as to mix the sludge mixture. When purifying drinking water, aeration contributes to the removal of iron hydroxide, free carbon dioxide and hydrogen sulfide, and ozonation additionally disinfects and improves water quality. It is the technical level of aeration systems that determines the degree and quality of purification, as well as the technical and economic performance of treatment facilities. The dispersion of gas in liquid is most often carried out using porous aerators placed at the bottom of an aeration tank or contact chamber, through which gas is pumped.*

**Keywords:** aerator, aeration tank, ozonation, dispersion, porosity, titanium.

Диспергация воздуха применяется для обеспечения жизнедеятельности микроорганизмов, осуществляющих минерализацию растворенных в сточных водах органических веществ и других загрязнений, а также для перемешивания иловой смеси [1].

Именно техническим уровнем систем аэрации определяется степень и качество очистки, а также технико-экономические показатели работы очистных сооружений. Диспергация газа в жидкости чаще всего осуществляется при помощи помещаемых на дно аэротенка или контактной камеры пористых аэраторов, через которые нагнетается газ [2].

В качестве объекта исследований выбраны два типа аэраторов: трубчатый Ø 120 × 600 мм и дисковый – Ø 290 мм. Оба пористых аэратора получены прессованием и спеканием губчатого порошка титана марки ТПП-5 и имеют близкие пористость (0,38–0,41) и средние размеры пор (~150–180 мкм) [3]. Исследования процесса

### 36 Секция 1. Современные технологии проектирования в машиностроении

аэрации проводились в экспериментальной установке, разработанной в Институте порошковой металлургии НАН Беларуси и представляющей собой прозрачную емкость габаритами  $2000 \times 1000 \times 800$  мм, в которую до уровня 600–700 мм наливали чистую водопроводную воду, а на дне в специальной оснастке размещали поочередно исследуемые аэраторы [3]. К аэраторам через редуктор с плавной регулировкой подавали воздух от пневмосети, давление и расход которого фиксировали манометром и ротаметром. На рис. 1 представлена генерация пузырьков воздуха в воде трубчатым и дисковым пористыми аэраторами.

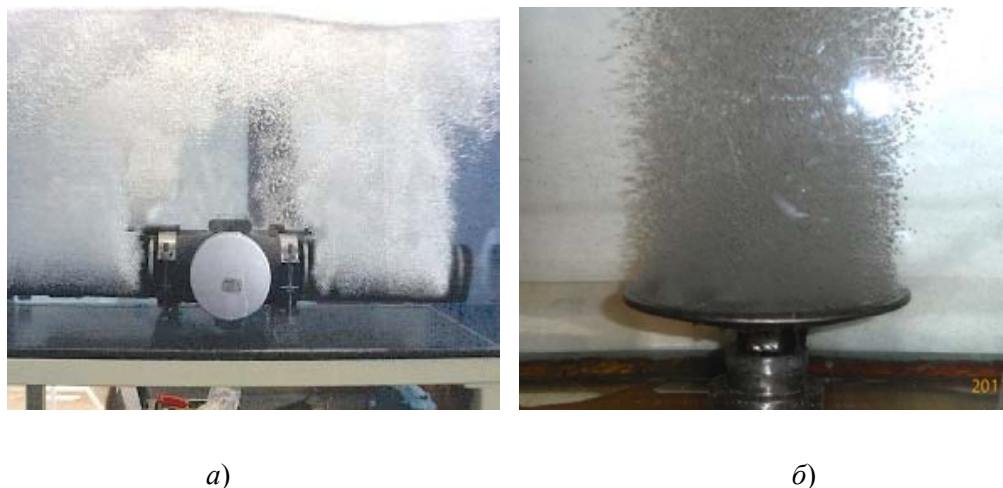


Рис. 1. Генерация пузырьков воздуха в воде трубчатым (а) и дисковым (б) пористыми аэраторами, спеченными из губчатого порошка титана марки ТПП-5

Как видно из рис. 1, а, трубчатые аэраторы имеют существенный недостаток – неэффективное использование поверхности, связанное с трубчатой формой. Во-первых, используется лишь  $1/4$ – $1/3$  поверхности трубы выше горизонтальной диаметральной плоскости [4]. Во-вторых, пузырьки, выходящие из нижней части трубы, огибая ее поверхность при всплытии, коалесцируют, увеличиваясь в размерах, что приводит к резкому увеличению скорости всплытия, переходу на струйный режим движения и существенному уменьшению времени и поверхности контакта кислорода воздуха с жидкостью [4]. При этом дисковый аэратор использует всю свою поверхность для генерации пузырьков номинального размера.

Плоские пористые аэраторы по сравнению с другими распространенными типами имеют наименьшие затраты электроэнергии (табл. 1).

Таблица 1

#### Сравнение энергоэффективности различных систем аэрации при производительности станции аэрации $50\,000 \text{ м}^3/\text{сут}$ [3]

Тип системы аэрации	Затраты электроэнергии, кВт/кг БПК <sub>5</sub>	Потребление электроэнергии, кВт · ч/сут
Плоские пористые аэраторы	0,47	2720
Механические поверхностные аэраторы	0,78	3730
Трубчатые пористые аэраторы	0,79	3780
Перфорированные трубы	0,85	7000

С 1987 г. 2 тыс. пористых дисковых аэраторов из спеченного порошка титана ТПП-5 успешно эксплуатируются на очистной водопроводной станции г. Минска без ремонтов и заметного ухудшения своих эксплуатационных характеристик. Общая производительность станции подготовки питьевой воды составляет 200 000 м<sup>3</sup>/сут.

Замена системы диспергирования с керамическими пористыми трубами «Aerolit» (фирма «Schumacher») на дисковые пористые титановые аэраторы позволила уменьшить на 14–17 % дозу и подачу озона при сохранении параметров очистки питьевой воды. В табл. 2 приведено сравнение технико-экономических показателей одной из камер озонирования предприятия речного водозабора ПО «Минскводоканал» с импортными и отечественными аэраторами.

Применение пористых титановых дисковых аэраторов типа ПА-2 позволило не только снизить в 3 раза капитальные затраты, но и уменьшить на 40 % среднюю потребляемую воздуходувками мощность, сберечь значительное количество энергоресурсов. В 1995–1996 гг. 5 тыс. аэраторов ПА-2 были установлены на Восточной водопроводной станции г. Москвы производительностью 1 200 000 м<sup>3</sup>/сут. С начала 2000-х гг. на Восточную и Рублевскую водопроводные станции г. Москвы было поставлено еще свыше 5000 тыс. аэраторов ПА-2-1.

*Таблица 2*

**Характеристика камеры озонирования питьевой воды  
ПО «Минскводоканал» с разными пористыми аэраторами**

Тип аэратора и его изготовитель	«Aerolit», «Schumacher», ФРГ	ПА-2, ИПМ, Беларусь
Форма и размеры	Труба, Ø 150 × 1000 мм	Диск, Ø 190 мм
Материал	Керамика SiO <sub>2</sub> , связка	Порошок титана
Подача озono-воздушной смеси в камеру, м <sup>3</sup> /ч	1020–1200	800–960
Доза озона, г/м <sup>3</sup>	2,2–2,8	1,5–2,0
Количество аэраторов	240	480
Цена аэратора (в 1986 г.), у. е.	128,59	21,35
Капитальные затраты, у. е.	30861,6	10248,0
Потребляемая воздуходувкой мощность, кВт	70–80	55–60

Таким образом, пористые дисковые аэраторы типа ПА-2, ПА-2-1, полученные пресованием и спеканием губчатого порошка титана, разработанные и изготовленные в Институте порошковой металлургии имени академика О. В. Романа, проработали в камерах озонирования очистной водопроводной станции г. Минска с 1987 по 2003 г. без замены и ремонтов при сохранении показателей очистки воды. Замена аэраторами ПА-2 пористых керамических труб «Aerolit» фирмы «Schumacher» (ФРГ) позволила уменьшить на 14–17 % дозу озона и подачу озонозудушной смеси при сохранении параметров очистки питьевой воды, сократить почти на 40 % среднюю потребляемую воздуходувками мощность, сберечь значительное количество энергоресурсов. Снижение эксплуатационных характеристик аэраторов ПА-2 обусловлено осаждением соединений железа на поверхности и в порах титанового диска. Химическая регенерация позволила восстановить проницаемость и размеры пор у ~30 % пористых дисков. Однако механическая прочность дисков при этом оказалась в 2,0–2,5 раза ниже, чем у новых, что связано с длительной коррозией межчастичных контактов под действием озонозудушной смеси и воды, а также коррозией при обработке растворами в процессе регенерации [5]. Совершенствуя

## **38 Секция 1. Современные технологии проектирования в машиностроении**

и оптимизируя аэрационные системы путем замены пористых аэраторов старых типов на современные дисковые, можно достичь существенной экономии электроэнергии на очистку сточных вод без значительных капитальных затрат на реконструкцию действующих очистных сооружений. При этом пористые аэраторы из порошка титана, несмотря на их высокую стоимость, имеют ресурс, на порядок превышающий ресурс полимерных аэраторов, что также обеспечивает экономию за счет сокращения объемов строительно-монтажных работ, простоев при ремонте и обслуживании аэротенков.

### **Л и т е р а т у р а**

1. Кудина, Е. Ф. Химия и микробиология воды : учеб. пособие / Е. Ф. Кудина, О. А. Ермолович, Ю. М. Плескачевский ; под ред. Ю. М. Плескачевского, А. С. Неверова. – Гомель : БелГУТ, 2010. – 335 с.
2. Жерноклев, А. К. Аэрация и озонирование в процессах очистки воды / А. К. Жерноклев, Л. П. Пилинович, В. В. Савич ; под ред. Н. В. Холодинской. – Минск : Тонпик, 2002. – 129 с.
3. Радкевич, И. Л. Аэраторы и системы аэрации / И. Л. Радкевич // Вода. – 1997. – № 7. – С. 4–7.
4. Непаридзе, Р. Ш. Мелкопузырчатая система аэрации сточных вод в аэротенках / Р. Ш. Непаридзе // Водоснабжение и санитарная техника. – 2004. – № 2. – С. 12–16.
5. Пористые аэраторы из порошков металлов. Опыт применения в системах очистки питьевой и сточной воды / А. Ф. Ильющенко [и др.] // Экологическая и техногенная безопасность. Охрана водного и воздушного бассейнов. Утилизация отходов : сб. науч. тр. XIX Междунар. науч.-техн. конф. ; под ред. В. Ф. Костенко, Д. Н. Почепецкого / УкрВОДГЕО. – Харьков, 2012. – С. 163–176.

УДК 629.464.2:004.94

### **АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КОНЦЕВОГО ПОЛУВАГОНА СНЕГОУБОРОЧНОГО ПОЕЗДА СМ-2**

**К. В. Максимчик, Н. В. Комаровский**

*Учреждение образования «Белорусский государственный  
университет транспорта», г. Гомель*

*Проведен анализ прочности конструкции рамы концевого полувагона снегоуборочного поезда СМ-2. С использованием программного комплекса ANSYS Workbench выполнено конечно-элементное моделирование его напряженно-деформированного состояния при нормативных режимах нагружения. Получены схемы распределения напряжений, которые показали, что максимальные значения эквивалентных по Мизесу напряжений наблюдаются в местах соединения хребтовой балки со шкворневой, а также в боковой балке в зоне установки выбросного конвейера. Результаты являются основой для разработки рекомендаций по усилению конструкции рамы концевого полувагона снегоуборочного поезда СМ-2.*

**Ключевые слова:** снегоуборочный поезд, концевой полувагон, метод конечных элементов, нормативные режимы нагружения, напряженно-деформированное состояние.

### **ANALYSIS OF THE RESULTS OF STRESS-STRAIN STATE MODELING OF THE END HALF-WAGON OF THE SM-2 SNOW REMOVAL TRAIN**

**K. V. Maksimchyk, N. V. Komarovsky**

*Belarusian State University of Transport, Gomel*

*The strength of the end half-wagon frame structure of the SM-2 snow removal train was analyzed. Using the ANSYS Workbench software package, finite element modeling of its stress-*