

## ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

---

УДК 628.1/621.762

### АЭРАЦИЯ ВОДЫ ТРУБЧАТЫМИ И ПЛОСКИМИ ПОРИСТЫМИ АЭРАТОРАМИ

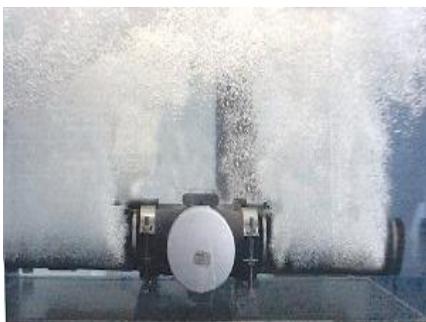
*В. В. САВИЧ, А. М. ТАРАЙКОВИЧ, Р. П. ГОЛОДОК, Д. Ю. ВЕРБИЦКИЙ*  
*Институт порошковой металлургии им. академика О. В. Романа,*  
*г. Минск, Республика Беларусь*  
*savich.vadim@gmail.com*

**Актуальность.** 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. 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]. При очистке питьевой воды аэрация способствует удалению гидроксида железа, свободной углекислоты и сероводорода, а озонирование дополнительно обеззараживает и улучшает качество воды. 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].

**Целью работы** – сравнение технико-экономической эффективности очистки воды в целом при использовании для ее насыщения газом пористых трубчатых и плоских аэраторов.

**Основные результаты.** В качестве объекта исследований выбраны два типа аэраторов: трубчатый  $\text{Ø}120 \times 600$  мм и дисковый  $\text{Ø}290$  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 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 рисунке 1 представлена генерация пузырьков воздуха в воде трубчатым и дисковым пористыми аэраторами.

а)



б)



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

Как видно из рисунка 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, колесцируют, 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 (таблица 1).

С 1987 года 2 тысячи пористых дисковых аэраторов из спеченного порошка титана ТПП-5 успешно эксплуатируются на очистной водопроводной станции города Минска без ремонтов и заметного ухудшения своих эксплуатационных характеристик. Общая производительность станции подготовки питьевой воды составляет 200 000 м<sup>3</sup>/сутки. 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 таблице 2 приведено сравнение технико-экономических показателей 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 тысяч аэраторов ПА-2 были установлены на Восточной водопроводной станции города Москвы производительностью 1200000 м<sup>3</sup>/сут. С начала 2000-х гг. на Восточную и Рублевскую водопроводные станции города Москвы было поставлено еще свыше 5000 тысяч аэраторов ПА-2-1.

Таблица 1 – Сравнение энергоэффективности различных систем аэрации при производительности станции аэрации 50000 м<sup>3</sup>/сутки [4]

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

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, Ø150×1000 мм	Диск, Ø190 мм
Материал	Керамика SiO <sub>2</sub> , связка	Порошок титана
Подача озоновооздушной 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

**Выводы.** Пористые дисковые аэраторы типа ПА-2, ПА-2-1, полученные прессованием и спеканием губчатого порошка титана, разработанные и изготовленные в Институте порошковой металлургии имени академика О. В. Романа, проработали в камерах озонирования очистной водопроводной станции города Минска с 1987 по 2003 год 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 озоновооздушной смеси при сохранении параметров очистки питьевой воды, уменьшить 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 озонородной смеси и воды, а также коррозией при обработке растворами в процессе регенерации [5]. Совершенствуя 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, не смотря на их высокую стоимость, имеют ресурс, на порядок превышающий ресурс полимерных аэраторов, что, также обеспечивает экономию за счет сокращения объемов строительного-монтажных работ, простоев при ремонте и обслуживании аэротенков.

#### Список литературы

- 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. трудов XIX междунар. науч.-техн. конф. ; под ред. В. Ф. Костенко, Д. Н. Почецкого. – Харьков : УкрВОДГЕО, 2012. – С. 163–176.

#### WATER AERATION WITH TUBULAR AND FLAT POROUS AERATORS

*V. V. SAVICH, A. M. TARAIOVICH, R. P. GOLODOK, D. YU. VERBITSKY  
Institute of Powder Metallurgy named after Academician O. V. Roman, Minsk, Republic of Belarus*