

исследовательской деятельности по применению вероятностного подхода для вычисления расчётных позиций при аэродромном диспетчерском обслуживании.

1. Постановление Правительства РФ от 11.03.2010 N 138 (ред. от 13.06.2018) "Об утверждении Федеральных правил использования воздушного пространства Российской Федерации"
2. Приказ Минтранса России от 25.11.2011 N 293 (ред. от 14.02.2017) "Об утверждении Федеральных авиационных правил "Организация воздушного движения в Российской Федерации"
3. Распоряжение Министерства транспорта Российской Федерации от 18.01.2002 № НА-21-р.
4. Глобальный аэронавигационный план на 2016-2030 гг, Международная организация гражданской авиации (ИКАО), Монреаль, Канада, 2018, 142с. ISBN 978-92-9258-377-4
5. Алешин А.В., Алешин В.И., Крыжановский Г.А. Вероятностные математические модели для определения расчетных позиций воздушных судов в системе УВД при взлете и посадке. В кн.: "Вестник Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации", №4 (13), Санкт-Петербург: СПбГУ ГА, 2016, С. 97-107. Источник №4

Соловьева Е.А., Ким В.С.

Современные подходы к подбору и расчету аэрационных систем для биологической очистки сточных вод

Петербургский Государственный Университет Путей Сообщения имени Императора Александра I (Россия, Санкт-Петербург)

doi: 10.18411/sr-10-12-2019-07

idsp: sciencerrussia-10-12-2019-07

Аннотация

Статья посвящается повышению эффективности работы современных аэрационных систем для биологической очистки сточных вод. Дан анализ работы современных аэраторов и способ их расчета. Оценивается общая эффективность работы системы аэрации. Материалы статьи содержат важные в научном и практическом плане данные.

Ключевые слова: аэраторы, аэрационная система, расход воздуха, стандартная окислительная способность, скорость переноса кислорода, биологическая очистка, экология.

Производительность аэраторов в единичном экземпляре или в блоке из двух или четырех экземпляров определяется на чистой воде в стандартных условиях: температура воды 20°C, давление атмосферного воздуха 760 мм рт. ст. при содержании кислорода 20,9 % в атмосферном воздухе.

При отличии от стандартных условий вводятся соответствующие поправки, на растворимость кислорода, влияние температуры и давления. Путем обескислороживания воды и последующего растворения кислорода в ходе аэрации определяют количество растворившегося кислорода в единицу времени из 1 м³ поданного воздуха. Эту величину называют окислительной способностью (ОС) в отечественной литературе и стандартной скоростью переноса кислорода (SOTR (standard oxygen transfer rate)) в зарубежной практике [1,5,6].

Ввиду слабой растворимости кислорода в воде процесс массопереноса описывают как диффузию газа от насыщенного поверхностного слоя (от пузырька воздуха или поверхностного слоя воды в реке либо водоеме) до рассматриваемой части объема воды. Применяют классическую формулу массопереноса:

$$\frac{dC}{dt} = K_l \cdot a \cdot (C_H - C_o), \quad (1)$$

где K_1 – коэффициент массопередачи от насыщенного поверхностного слоя внутрь объема воды; a – удельная площадь контакта воды с воздухом; C_H – концентрация кислорода в насыщенном слое воды; C_0 – концентрация кислорода в объеме воды.

В условиях пневматической аэрации, когда скорость турбулентной диффузии изменяется весьма мало ввиду почти постоянной скорости движения воды в объеме аэротенка, основное влияние относится к удельной поверхности массопередачи и частично к коэффициенту массопередачи K_1 .

Первый параметр определяется диаметром образующихся пузырьков воздуха d_p , которые формируются аэратором, в зависимости от диаметра пор отверстий в аэраторе, скорости выхода воздуха, геометрии отверстий для выхода воздуха, степени гидрофобности материала аэратора, коалесценции пузырьков воздуха над аэратором.

Влияние параметров такого рода определяется на аэраторах при малой глубине их погружения (1,0 – 1,5 м).

Параметр K_1 зависит, главным образом от свойств воды, в частности от содержания в ней поверхностно-активных веществ (ПАВ) природного и антропогенного происхождения. Возрастание концентрации ПАВ однозначно снижает K_1 от единицы (в относительных величинах) до 0,3-0,5 для концентрированных промышленных сточных вод [2].

Стандартная окислительная способность приводится к условиям отсутствия кислорода в воде ($T = 20^\circ\text{C}$, $P = 760$ мм рт. ст.):

$$OC = SOTR = K_1 \cdot a \cdot C_H \quad (2)$$

Окислительная способность определяется при глубине аэротенка H , заглублении аэратора h_a , геометрических размерах испытуемого резервуара (объем W), и отражает все особенности техники определения параметра.

При переходе к работе аэраторов в производственных условиях необходимо вносить ряд поправок на расположение аэраторов, площадь активной зоны аэрации, гидродинамических условий движения жидкости в аэрируемом объеме.

Чем более равномерное распределение аэраторов, тем меньше спиральные потоки между ними. Спиральные потоки могут создавать скорость потока порядка 0,7 м/с. Средняя скорость всплытия пузырьков составляет от 0,15 до 0,3 м/с, при диаметре пузырьков составляет от 1 до 3 мм (рис. 1).

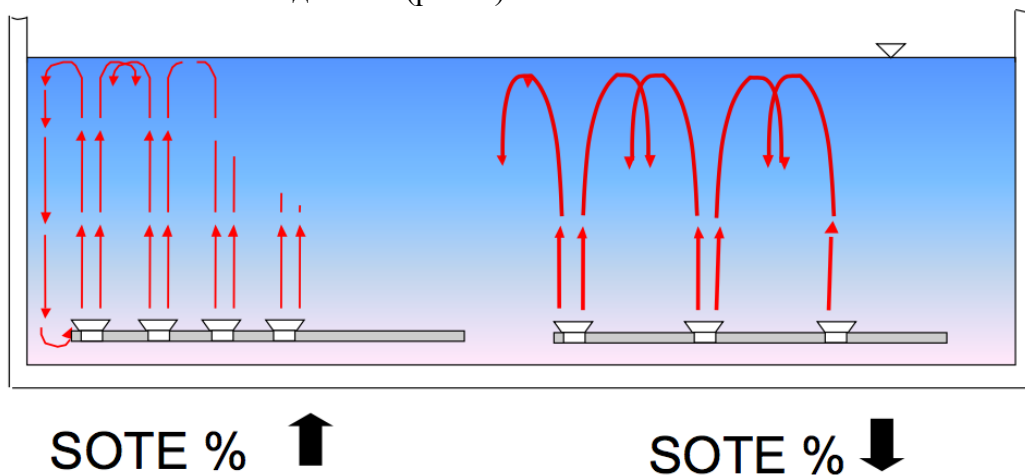


Рисунок 1 – Расположение аэраторов

Окислительная способность $SOTR$ и эффективность массопереноса кислорода $SOTE$ не отражают в полной мере эффективность применяемой системы аэрации, если не учитывают потребляемую процессом энергию.

Общая эффективность системы аэрации, включая подводимую к процессу энергию, SAE (*Standart Aeration Efficiency*) определяется соотношением ОС ($SOTR$) и общей потребляемой мощности задействованных в процессе приводов (P_{tot}), нагнетающих воздух в систему:

$$SAE = \frac{SOTR}{P_{tot}} \quad (3)$$

Таблица 1.

Характеристики эффективности систем аэрации

Параметр	Единицы измерения	Величина в стандартных условиях	Показатель
Окислительная способность	кгО ₂ /ч	$SOTR$	Производительность аэрации
Эффективность массопереноса кислорода	%	$SOTE$	Эффективность аэрации, в зависимости от глубины погружения и скорости подачи воздуха
Общая эффективность системы аэрации	кгО ₂ /кВт ч	SAE	Соотношение количества растворенного в объеме кислорода и затраченной на это энергии

Так как ОС ($SOTR$) зависит от условий проведения испытаний, была введена в практику единица массопереноса на 1м² площади аэрации или на 1м погружения аэратора – $SOTE$ и $SOTE_h$. Стандартная эффективность массопереноса кислорода $SOTE$ (*standard oxygen transfer efficiency*) определяется как соотношение растворившегося кислорода к общему количеству поданного с воздухом в %:

$$SOTE = \frac{SOTR \cdot W}{Q_{air} \cdot J_{O_2}} \cdot 100, \quad (4)$$

где W – объем сосуда, Q_{air} – расход воздуха, J_{O_2} – содержание кислорода в воздухе. Для учета глубины аэратора определяется $SOTE_h$:

$$SOTE_h = \frac{SOTE}{h_a^x}, \quad (5)$$

где x – показатель степени зависимости $SOTE$ от h_a . Некоторые из фирм –изготовителей принимают $x=0,7$ [3,4]; большинство современных производителей приводят данные при $x=1$.

С увеличением удельного расхода воздуха на единицу площади аэратора $SOTE$ плавно снижается, и это снижение связано в первую очередь с ростом скорости выхода воздуха из пор, но в некоторой степени и с вовлечением мелких пор в диспергирование воздуха.

С течением времени эксплуатации аэраторов происходит засорение пор, в первую очередь наиболее мелких. Засорение возникает в результате накопления пыли в порах и проникновения бактерий активного ила в аэраторы при остановке воздуходувок. С этой позиции различают аэраторы незащищенные (от пыли и ила), частично защищенные и самоочищающиеся.

Обычные аэраторы из однородных материалов - трубчатые и пластинчатые, не защищены от засорения. Двухслойные аэраторы частично защищены от пыли благодаря наличию первого (крупнопористого) слоя диспергатора, но не защищены от проникновения ила.

Современные мембранные аэраторы защищены от засорения способностью к смыканию пор при отсутствии аэрации и наличием встроенного обратного клапана.

Максимально разрешенная для применяемого материала *EPDM* (этилен - пропиленовый каучук) температура нагнетаемого воздуха достигает 100 °С, что сказывается на долговечности применения без потери свойств эластичности пор. Системы отвода конденсата, которыми комплектуются современные системы мембранной аэрации, также как и системы очистки на основе муравьиной кислоты продлевают срок службы без потери производительности.

Долговечность работы аэраторов определяет главное условие их применения. Незащищенные аэраторы довольно быстро теряют эффективность в течении 1,5–2 лет, частично защищенные способны удерживать эффективность до 3–4 лет, защищенные (*EPDM*) до 10 лет.

Эффективность аэрации оценивают по использованию кислорода в воздухе, выходящем из аэротенков. При помощи плавающих колпаков отбирается из иловой смеси воздух, в нем анализом устанавливается фактическое содержание кислорода J_{O_2} . По разнице между количеством поданного и неиспользованного кислорода устанавливается степень старения (ухудшения работы аэратора во времени).

Таким образом устанавливаются два общепринятых коэффициента: α – фактор и F – фактор [5,6]. Первый фактор отображает переход от условий массопереноса в чистой воде к условиям процесса в иловой смеси действующего аэротенка:

$$\alpha = \frac{(K_L \cdot a)_{ис}}{(K_L \cdot a)_{чв}}, \quad (6)$$

где $(K_L \cdot a)_{ис}$ относится к иловой смеси; $(K_L \cdot a)_{чв}$ – относится к чистой воде.

Второй фактор:

$$F = \frac{(K_L \cdot a)_{э}}{(K_L \cdot a)_{н}}, \quad (7)$$

где $(K_L \cdot a)_{э}$ относится к аэраторам находящимся в эксплуатации; $(K_L \cdot a)_{н}$ – относится к новым аэраторам.

Очень часто оба параметра объединяют в виде $\alpha \cdot F$, обобщая свойства сточных вод и поведение аэраторов по мере их засорения.

Параметр α –фактор учитывает сразу несколько явлений – изменение диаметров пузырьков воздуха в загрязненной жидкости, образование экранирующих пленок на воздушных пузырьках из ПАВ, расположение аэраторов (пристенное, одно- или многорядное, рассредоточенное по днищу аэротенка и т.п.), интенсивность выхода воздуха из аэраторов, возможную коалесценцию пузырьков воздуха.

В таблице 2 показаны результаты измерения α – фактора на одной из очистных станций США [3]. Не обращая внимание на индивидуальные особенности работы станции (состав сточных вод, условия функционирования активного ила и т.п.), отметим явное снижение величины α до весьма низких значений.

Испытаниям подверглись глубокозаложенные мембранные аэраторы. Заметим, что в режимах напряженной окислительной деятельности биоценоза ила и при низком содержании кислорода в иловой смеси значение α снижалось до 0,44, а в режимах развитой нитрификации достигало значений 0,54 – 0,56.

Таблица 2.

Изменение значения $\alpha(F)$ в зависимости от кислородного режима в аэротенках

Режимы очистки	Температура воды, °С	Растворенный кислород в аэротенке, мг/л	Заглубление аэраторов, м.	$\alpha(F)$
I	24	0,75 – 1,10	7,0	0,44
II	24,2	2,7 – 2,85	7,0	0,47
III	24,3	4,85 – 7,60	7,0	0,54
IV	24,3	6,25 – 7,30	7,0	0,56

На другой очистной станции США [4] проверялись различные типы аэраторов – новые, бывшие в употреблении (2 – 3 года), восстановленные (очищенные), старые. Результаты проверки выявили:

- в режимах высокой нагрузки (возраст ила 3 – 6 сут) значение α для новых аэраторов (значение $F = 1$) составляло 0,4 – 0,45, а в режимах с глубокой нитрификацией 0,55 – 0,65;
- применение восстановленных аэраторов снижало эффективность аэрации сразу на 15 – 20%;
- использование аэраторов (со сроком службы 2 – 2,5 года) снижало α – фактор до значений 0,3 – 0,45 соответственно в режимах высокой и низкой нагрузки;
- для старых аэраторов (срок службы более трех лет) значение α – фактора снижалось до 0,25 – 0,35.

Таким образом, принимая решение о замене аэрационной системы, необходимо заранее предусматривать снижение эффективности аэрации по сравнению с паспортными техническими данными. Если аэрационная система рассчитывается на срок службы не более 4-х лет эксплуатации, среднее значение $\alpha(F)$ следует принимать равным 0,5-0,55, как это практикуется в США.

Оценка эффективности систем аэрации на основе EPDM-мембран проводилась на протяжении шести лет на одной из очистных станций в г.Зогель (Германия) [7], критериями оценки выступали перечисленные выше параметры и способность аэрационной системы выдерживать резкие колебания нагрузки в широком диапазоне расхода воздуха в течение отдельных периодов времени, связанных с относительно высокой долей промышленного стока (около 75%), при сохранении эксплуатационных характеристик, заданного уровня общей эффективности системы аэрации SAE без существенного снижения эффективности аэрации.

Для решения этой задачи был организован комплекс мер включающий в себя переход на регулируемую подачу воздуха в систему и оптимизацию управления регулированием, применение новой аэрационной системы на основе EPDM-мембран, в результате чего удельное энергопотребление очистных сооружений в г. Зогель за указанный промежуток времени сократилось более чем на 50% [8,9].

1. Соловьева Е.А. Удаление азота и фосфора из городских сточных вод. Технологии удаления азота и фосфора в комплексе по очистке сточных вод и обработке осадка. Изд. LAP LAMBERT Academic Publishing (ISBN-13:978-3-8465-0130-6). Германия. 2011. 292с.
2. Соловьева Е. А. «Очистка сточных вод от азота и фосфора». Монография. СПб: «ВодопроектГипрокоммунводоканал СПб», 2008 г. 100 с.
3. M.P. Ries, D. T. Redmon, F. Corsoro, T.E. Wilson. Alpha factor testing at a step feed BNP plant. Water Environment Federation. 2005.
4. D. Rosso, M.E. Stenstrom. Economic implications of fine pore diffuser aging. 2005.
5. Standard ASCE 2-06: Measurement of Oxygen Transfer in Clean Water.
6. Standard DWA-M 209: Measurement of the Oxygen Transfer in Activated Sludge Aeration Tanks with Clean Water and in Mixed Liquor.
7. Губарев Е.Н. Современные воздуходувки для аэрации сточных вод // Международная научно-практическая конференция «Экологическая безопасность: проблемы и пути решения» // Издательство «Наукоемкие Технологии» (ISBN 978-5-9909412-6-7). 2018 год. С.16-17
8. Erkki Lantto, Stefan Wilken German Plant Upgrades Drop Specific Energy Use by More Than 50 Percent. // Pumps and Systems Magazine. 2016. September. 46-48 p.
9. Erkki Lantto, Stefan Wilken Wastewater Treatment in Turbo Mode // Sulzer Technical Review. 2015. №2. 16-19 p.