

В.Н. ЗЕНЦОВ
И.В. ЛАПШАКОВА
У.Р. ИСЛАМОВ

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА АЭРАЦИИ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМАХ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

INTENSIFICATION OF AERATION PROCESSES IN TECHNOLOGICAL SCHEMES OF WASTEWATER TREATMENT

Рассмотрены вопросы ресурсосбережения при реконструкции очистных сооружений канализации. Дана характеристика современных аэраторов. Представлена оценка эффективности низконапорной аэрации в современных условиях с использованием новых конструкций аэраторов и высоконапорных вентиляторов. Приведены результаты расчетов аэраторов при диапазоне погружения от 0,5 до 6 м по общему расходу воздуха, массообменным характеристикам и мощности. Показано, что минимальные затраты мощности приходятся при глубине размещения аэраторов, равной одному метру. Замечено, что при уменьшении глубины погружения аэратора значение $SOTE_{pwo}$ уменьшается. Отмечено, что такая конструкция облегчает доступ к аэраторам во время эксплуатации. Показано преимущество высоконапорных вентиляторов в сравнении с низконапорными, нерегулируемыми воздуходувками.

Ключевые слова: очистные сооружения канализации, низконапорная аэрация, аэратор, высоконапорный вентилятор

The problems of resource conservation in the reconstruction of sewage treatment facilities were studied. The characteristic of modern aerators is given. It provides an assessment of the effectiveness of low pressure aeration in modern conditions with the use of new designs aerators and high-pressure fans. The results of calculations for immersion aerator range of 0.5 to 6 m in the total air flow, mass transfer and capacity characteristics are given. It is shown that the minimum cost of power comes with a depth of placement of aerators, equal to one meter. It has been observed that a decrease in the depth of immersion aerator is reduced. It is noted that such a design facilitates access to aerators during operation. The advantage of the high-pressure fans in comparison with low-pressure, non-adjustable blower is shown.

Keywords: sewage treatment facilities, low-pressure aeration, aerator, high-pressure fan

Хорошо известно критическое состояние водной отрасли как в отношении степени износа основных фондов, так и морально устаревших технологий, особенно высокой энергоемкости [1–7]. Вместе с тем, крупные водохозяйственные организации в последние годы приступили к коренной модернизации технической базы за счет использования при реконструкции сетей и сооружений новейших мировых достижений [8–15].

На многих очистных сооружениях канализации к настоящему времени найдены возможности замены так называемых среднепузырчатых аэраторов на мембранные аэраторы отечественных фирм-производителей со значительно более высокими массообменными характеристиками. Увеличение концентрации кислорода в аэротенках до 5–6 мг/л в результате применения новых аэраторов обеспечивает возможность нитрификации аммонийного

азота. Поскольку этот процесс сопровождается соответствующим приростом концентрации нитратного азота, размер платы за сверхлимитный сброс загрязняющих веществ практически остается без изменений. Так как типовые воздуходувки не могут регулировать расход воздуха, потенциал энергосбережения, обусловленный как снижением расхода сточных вод, так и применением более эффективных аэраторов, в полном объеме практически не реализуется.

Необходимость поддерживать минимальную интенсивность аэрации еще более снижает диапазон эффективного применения аэраторов.

В настоящее время при реконструкции очистных сооружений канализации не ограничиваются заменой аэраторов, а внедряют блоки биологической дефосфотизации, денитрификации и нитрификации с аэробной деструкцией органических загрязнений. Использование анаэробных и анок-

сидных процессов и мембранных аэраторов в аэробных зонах дает существенный энергосберегающий эффект за счет снижения расхода воздуха [1]. Принципиальной особенностью новых схем является обеспечение перемешивания иловой смеси и поддержание её во взвешенном состоянии специальными мешалками, т.е. эта технологическая задача, как правило, определяющая производительность воздуходувного оборудования, снимается с систем аэрации. Имеются немногочисленные публикации и об успешной эксплуатации таких технологических схем с низкими концентрациями биогенных элементов и биологически-производственных комплексов (БПК) [2].

Аэрационная зона современного многоступенчатого биореактора представляет собой часть циркуляционного контура нитрификатора-денитрификатора. По дну во всю ширину секции расположены трубчатые или купольные аэраторы. В этом случае необходимо воздуходувное оборудование нового типа с регулируемым расходом при постоянной мощности (автоматическое изменение угла лопаток при заданной концентрации кислорода в иловой смеси на выходе из сооружения).

Функции насыщения иловой смеси кислородом и поддержание ее во взвешенном состоянии аппаратно разделены. Имеет смысл проанализировать технологию «низконапорной» аэрации, о которой достаточно много говорилось в 60-е гг. прошлого века [3] и упоминается до настоящего времени [4]. Применение этой технологии сокращает расход электроэнергии и значительно улучшает технико-экономические показатели части системы очистки сточных вод, вносящие основную долю затрат в себестоимость. Профессором С.М. Шифриной предлагалось использовать высоконапорные вентиляторы. Работы по низконапорной аэрации были свернуты из-за невозможности приобретения строго фондируемых вентиляторов, использовавшихся в 1960–1970-е гг. в мукомольной промышленности.

В статье предпринята оценка эффективности «низконапорной» аэрации в современных условиях с использованием новых конструкций аэраторов и высоконапорных вентиляторов. Технологические характеристики аэраторов принимались по СНиП 2.04.03-85 «Канализация. Наружные сети и сооружения», монографии [5], докторской диссертации

Таблица 1

Характеристика аэраторов

| Глубина размещения аэраторов $h_{ар}$, м | Удельная мощность $N_{ад\ уд\ рив}$, кВт | Тип аэраторов | | | | | | | | | |
|---|---|---|-----------------|----------------|---|-----------------|----------------|---|-----------------|----------------|--|
| | | Мелкопузырчатые по СНиП 2.04.03-85 | | | №1 | | | №2 | | | |
| | | $q_{air', рив'}$ М ³ /М ³ | $SOTE_{рив'}$ % | $N_{рив'}$ кВт | $q_{air', рив'}$ М ³ /М ³ | $SOTE_{рив'}$ % | $N_{рив'}$ кВт | $q_{air', рив'}$ М ³ /М ³ | $SOTE_{рив'}$ % | $N_{рив'}$ кВт | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | |
| 0,5 | 3,50 | 10,61 | 3,13 | 36,07 | | | | | | | |
| 0,6 | 4,19 | 9,18 | 3,62 | 38,85 | | | | | | | |
| 0,7 | 4,87 | 7,01 | 4,75 | 35,45 | | | | | | | |
| 0,8 | 5,55 | 5,23 | 6,36 | 30,73 | | | | | | | |
| 0,9 | 6,23 | 4,63 | 7,19 | 30,96 | | | | | | | |
| 1,0 | 6,89 | 4,14 | 8,04 | 31,02 | 4,75 | 7,0 | 35,59 | 1,07 | 31,0 | 8,01 | |
| 2,0 | 13,37 | 2,49 | 13,37 | 38,63 | 2,56 | 13,0 | 38,93 | 1,00 | 33,0 | 15,20 | |
| 3,0 | 19,49 | 1,82 | 18,29 | 40,71 | 1,75 | 19,0 | 39,15 | 0,95 | 35,0 | 21,25 | |
| 4,0 | 25,28 | 1,44 | 23,12 | 40,91 | 1,33 | 25,0 | 37,80 | 0,91 | 36,5 | 25,85 | |
| 5,0 | 30,80 | 1,19 | 27,98 | 41,33 | 1,07 | 31,0 | 37,17 | 0,85 | 39,0 | 29,52 | |
| 6,0 | 36,06 | 1,02 | 32,64 | 41,51 | | | | | | | |

Ю.М. Мешенгиссера [6], каталогам фирм-производителей, опубликованных в Интернете (в итоговой таблице фирмы-производители не упоминаются).

Сводные результаты расчетов по некоторым аэраторам приведены в табл. 1. Диапазон погружения аэраторов принят от 0,5 до 6 м.

В качестве базовых приняты условные очистные сооружения производительностью $q_{sw} = 1 \text{ м}^3/\text{с}$ (3600 $\text{м}^3/\text{ч}$), концентрация загрязняющих веществ $\Delta L = 100 \text{ мг/л}$, необходимая окислительная мощность по кислороду $OM = q_{sw} \cdot \Delta L = 360 \text{ кг/ч}$. Все характеристики аэраторов сравнивались с хорошо исследованными в 70-е гг. XX в. мелкопузырчатыми керамическими аэраторами во ВНИИ ВОДГЕО и опубликованными в нормативной литературе.

Расчетные значения общего расхода воздуха $q_{air\text{ }pw}$ для мелкопузырчатых аэраторов приведены в колонке 3 табл. 1. При уменьшении глубины погружения аэратора значение $SOTE_{pw}$ уменьшается. Пересчет необходимого расхода воздуха на реальную сточную воду ведется по значениям $K_3 = 0,85$, $C_0 = 3,0 \text{ мг/л}$ (для улучшения процесса нитрификации).

В целом, при $\eta_{\text{возд}} = 0,75$, коэффициент пересчета по сравнению с полезной мощностью на чистой воде равен $K_N = 2,3$.

Как известно, в связи с существующими эксплуатационными недостатками, фильтросные пластины и трубы вначале были вытеснены среднепузырчатыми аэраторами, а в настоящее время пластмассовыми мембранными аэраторами. Для многих из них опубликованы массообменные характеристики в форме $SOTE = f(h_a, q_{air})$ и гидравлические – $\Delta h = f(q_{air})$.

Аналогичные расчеты приведены для аэратора №1 ($SOTE_1 = 7\%$, $SOTE_5 = 31\%$) и аэратора №2 ($SOTE_1 = 31\%$, $SOTE_5 = 39\%$). Минимальные затраты мощности приходятся на $h_a = 1,0 \text{ м}$, т.е. их целесообразно использовать в системах низконапорной аэрации.

У систем низконапорной аэрации есть еще одно важное преимущество: можно отказаться от громоздких низконапорных, нерегулируемых воздухоудовок, заменить их высоконапорными вентиляторами, например типа Electrog, на избыточный напор до 1,6 м вод.ст. или «Энфи»–100 и «Энфи»–200.

Конечно, размещение аэрационной системы на глубине 1,0 м усложнит конструкцию аэрационной зоны в целом, но облегчит доступ к аэраторам во время эксплуатации. Усложняется гидродинамика течения иловой смеси и взаимодействие с потоком воздуха. Однако существенное сокращение энергетических затрат, упрощение размещения воздухоудовных станций непосредственно у реконструируемых

биореакторов позволит проводить посекционную реконструкцию и получить ресурсы для ее выполнения за счет существенного сокращения расхода электроэнергии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Баженов В.И. Инженерное оформление крупных аэротенков по экономическому принципу // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2008. №1. С. 66–79.
2. Пахомов А.Н., Стрельцов С.А. и др. Опыт эксплуатации сооружений биологической очистки сточных вод от соединений азота и фосфора // Водоснабжение и санитарная техника. 2010. №10–1. С. 35–41.
3. Федоров Н.Ф., Шифрин С.М. Канализация. М.: Высшая школа, 1968. 592 с.
4. Яковлев С.В., Воронов Ю.В. Водоотведение и очистка сточных вод. Изд. 2-е. М.: Ассоциация строительных вузов, 2002. 704 с.
5. Худенко Б.М., Штирт Е.А. Аэраторы для очистки сточных вод. М.: Стройиздат, 1973. 112 с.
6. Мешенгиссер Ю.М. Теоретическое обоснование и разработка новых полимерных аэраторов для биологической очистки сточных вод: дис. ... д.т.н. М., 2005. 280 с.
7. Степанов С.В., Стрелков А.К., Блинкова Л.А., Морозова К.М., Беляков А.В. Определение кинетических констант для процессов биохимической очистки сточных вод нефтеперерабатывающих заводов // Водоснабжение и санитарная техника. 2013. №2. С. 46–50.
8. Степанов С.В., Швецов В.Н., Морозова К.М., Беляков А.В., Блинкова Л.А. Исследование технологии нитриденитрификации для очистки нефтесодержащих сточных вод // Водоснабжение и санитарная техника. 2013. №5. С. 50–56.
9. Степанов С.В., Стрелков А.К., Степанов А.С., Швецов В.Н., Морозова К.М., Каленюк В.А. Биологическая и биомембранная очистка сточных вод нефтехимического производства // Водоснабжение и санитарная техника. 2009. №7. С. 55–60.
10. Зенцов В.Н., Назаров В.Д., Лапшакова И.В., Имилова В.Ф. Инновационный метод обеспечения водоснабжения и водоотведения малых населенных пунктов // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2013. № 4(13). С. 30–32. DOI: 10.17673/Vestnik.2013.S4.8.
11. Сизов А.А., Сертокрылов Н.С., Каменев Я.Ю. Методика выбора технологии очистки периодических сбросов сточных вод // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2012. №4. С. 71–74. DOI: 10.17673/Vestnik.2012.04.13.
12. Стрелков А.К., Шувалов М.В., Теплых С.Ю., Горшкалева П.А., Мурадян Ю.В. О необходимости модернизации существующих очистных сооружений Самарской области и получения разрешительных документов на сброс сточных вод в условиях действующего законодательства // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2013. №4(13). С. 89–92. DOI: 10.17673/Vestnik.2013.S4.24.
13. Сертокрылов Е.Н. Динамика изменений массообменных характеристик керамических аэраторов «Бакор» в течение года эксплуатации // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2013. №4(13). С. 65–69. DOI: 10.17673/Vestnik.2013.S4.19.

14. *Боронина Л.В., Серпокрылов Н.С., Тажиева С.З.* Разработка технологии экологически чистого защитно-барьерного водоприемно-очистного комплекса для малых объектов водоснабжения // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2013. №4(13). С. 19–21. DOI: 10.17673/Vestnik.2013.S4.5.

15. *Шайхисламов А.В., Зенцов В.Н., Хайруллин В.А.* Энергосберегающие технологии при эксплуатации очистных сооружений канализации // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2015. №3(20). С. 59–62. DOI: 10.17673/Vestnik.2015.03.8.

Об авторе:

ЗЕНЦОВ Вячеслав Николаевич

доктор технических наук,
профессор кафедры водоснабжения и водоотведения
Уфимский государственный нефтяной технический
университет
450062, Республика Башкортостан,
г. Уфа, ул. Менделеева, 195,
тел. 8(917)432-88-06
E-mail: ugntu-vv@mail.ru

ZENTSOV Vyacheslav N.

Doctor in Engineering Science, Professor of the Department
of Water Supply and Sewerage Department
Ufa State Oil University
450062, Republic of Bashkortostan, Ufa, Mendeleeva st., 195,
tel. 8(347)228-22-11
E-mail: ugntu-vv@mail.ru

ЛАПШАКОВА Ирина Васильевна

кандидат технических наук, доцент кафедры водоснабже-
ния и водоотведения
Уфимский государственный нефтяной технический уни-
верситет
450062, Республика Башкортостан,
г. Уфа, ул. Менделеева, 195,
тел. 8(917)423-70-45
E-mail: ugntu-vv@mail.ru

LAPSHAKOVA Irina V.

PhD in Engineering Science, Associate Professor
of the Department of Water Supply and Sewerage
Ufa State Oil University
450062, Republic of Bashkortostan, Ufa, Mendeleeva st., 195,
tel. 8(347)228-22-11
E-mail: ugntu-vv@mail.ru

ИСЛАМОВ Урал Раилевич

аспирант кафедры водоснабжения и водоотведения
Уфимский государственный нефтяной технический
университет
450062, Республика Башкортостан,
г. Уфа, ул. Менделеева, 195,
тел. 8(347)228-22-11
E-mail: ugntu-vv@mail.ru

ISLAMOV Ural R.

Post-graduate student of the Department of Water Supply
and Sewerage
Ufa State Oil University
450062, Republic of Bashkortostan, Ufa, Mendeleeva st., 195,
tel. 8(347)228-22-11
E-mail: ugntu-vv@mail.ru

Для цитирования: *Зенцов В.Н., Лапшакова И.В., Исламов У.Р.* Интенсификация процесса аэрации в технологических схемах очистки сточных вод // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2016. №2(23). С. 27-30. DOI: 10.17673/Vestnik.2016.02.6.

For citation: *Zentsov V.N., Lapshakova I.V., Islamov U.R.* Intensification of aeration proces in technological schemes of wastewater treatment // Vestnik SGASU. Town Planning and Architecture. 2016. №2(23). Pp. 27-30. DOI: 10.17673/Vestnik.2016.02.6.

* * *

УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!

ПРИ ПОДАЧЕ СТАТЕЙ ДЛЯ ПУБЛИКАЦИИ ПРОСЬБА СОБЛЮДАТЬ ВСЕ ТРЕБОВАНИЯ,
ПРИВЕДЕННЫЕ НА САЙТЕ ЖУРНАЛА
«**ВЕСТНИК СГАСУ. ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА**»
(www:journal.samgasu.ru) В РАЗДЕЛЕ АВТОРАМ