

Расчет элементов наилучших доступных технологий при реконструкции Левобережных очистных сооружений г. Ростов-на-Дону.

К.О.Оковитая, О.А. Суржко

*Южно-Российский государственный политехнический университет
(НПИ) имени М.И. Платова*

Аннотация: При реконструкции левобережных очистных сооружений предлагается интенсифицировать работу первичных отстойников за счет включения зоны ацидофикации. При реконструкции аэротенков целесообразно выделить анаэробную зону и зону нитрификации. Внедрение запроектированных мероприятий позволяет достичь нормативных показателей сброса по азоту аммонийному и фосфора при увеличении расчетного расхода до 460 тыс.м³/сут.

Ключевые слова: сточные воды, очистные сооружения, реконструкция, наилучшие доступные технологии, первичные отстойники, ацидофикация, аэротенки, анаэробная зона.

При эксплуатации очистных сооружений установлено, что фактические условия работы очистных сооружений канализации (ОСК) не соответствуют проектным. Фактические концентрации загрязнения сточных вод, поступающих на ОСК превышают проектные по основным показателям: БПК, взвешенные вещества, фосфаты, азот аммонийный. Постоянно происходят залповые сбросы сточных вод с высокой концентрацией органических загрязнений, жиров, нефтепродуктов.

Производство работ по реконструкции ОСК ставит работу сооружений в нестабильные условия и влечет за собой необходимость корректировки технологических режимов работы сооружений в зависимости от обеспечения условий их реконструкции.

До 2020 г. необходимо провести реконструкцию очистных сооружений и обеспечить нормативные показатели сброса при расчетном расходе 460 тыс.м³/сут. Основным условием являются наименьшие затраты на реконструкцию за счет совершенствования технологической схемы и внедрения элементов наилучших доступных технологий (НДТ) [1,2].

Целью работы является интенсификация работы первичных отстойников и аэротенков для достижения нормативных показателей сброса по азоту аммонийному и фосфору с использованием элементов НДТ.

Авторами определены два основных элемента структуры ОСК, интенсификация работы которых позволит провести реконструкцию с наименьшими затратами[3,4]. Такими элементами являются первичные отстойники и аэротенки. Расчет первичных отстойников первой очереди позволил установить, что гидравлическая крупность взвешенных веществ составляет 0,6 мм/сек, расчетная производительность каждого из четырех отстойников 2200 м³/час, количество осадка с влажностью 95,4% составляет 837 м³/сут, а по сухому веществу 38,5 т/сут.

Имеющийся резерв производительности первичных отстойников позволяет запроектировать в них биореактор-ацидофикатор. Принимаем общий объем биореакторов в первичных отстойниках равным 2548 м³.

В ацидофикаторе находится сырой осадок в количестве 837 м³/сут. в пересчете на 98% влажность.

Исходя из рекомендуемого времени сбраживания 2,0 сут, обеспечивающего максимальный выход летучих жирных кислот (ЛЖК), влажность смеси в биореакторах-ацидофикаторах составит 99,78%. Для отмывки осадка от летучих жирных кислот в реактор подается неосветленная сточная жидкость в количестве равном суточному объему осадка. Перемешивание производится имеющимися эрлифтными установками. Отмытый осадок отстаивается и затем перекачивается в цех механического обезвоживания осадка.

Надосадочная жидкость, содержащая ЛЖК, поступает в общий лоток осветленных сточных вод и далее на биологическую очистку в аэротенки.

Сбраживание происходит с образованием из беззольной части сырого осадка до 20% уксусной кислоты и до 15% пропионовой кислоты от

исходного содержания органических веществ. Поскольку в беззольном веществе активного ила основную часть представляют белки с пределом сбраживания 48 % против 70% для жиров, то выход летучих жирных кислот вдвое ниже (10% уксусной кислоты и 7% пропионовой от исходного содержания беззольного вещества).

Содержание беззольной части в сухом веществе сырого осадка при зольности 25% составит 27,1 т/сут:

Количество уксусной кислоты, образующееся в реакторе ацидофикации сырого осадка, составит 5,42 т/сут, а суточное количество пропионовой кислоты 4,06 т/сут, общее количество летучих жирных кислот, продуцируемых в ацидофикаторе из сырого осадка и активного ила будет равно 9,47 т/сут.

В пересчете на ХПК, количество уксусной кислоты с удельным ХПК 1,07 мг O₂/г составит 5,8 т/сут. Для пропионовой кислоты суточное количество ХПК при удельном ХПК 1,51 составит 6,1 т/сут. Общее ХПК для ЛЖК составит 11,9 т/сут. При удельных БПК_П для уксусной кислоты равной 0,86 мг O₂/г, пропионовой – 1,21 мг O₂/г, прирост органических веществ по БПК в результате ацидофикации составит 10,23 т.

Увеличение ХПК осветленных сточных вод за счет поступления гидролизата, содержащего ЛЖК, равно 58,2 мг O₂/г, а общее ХПК смеси 497,1 мг O₂/г. Прирост БПК за счет поступления ЛЖК 50 мг O₂/г, а общее БПК смеси 318 мгO₂/г.

Остаточное количество (т/сут) беззольной массы сырого осадка после сбраживания- 15,85, сухого вещества сырого осадка 26,7. В этом случае зольность осадка составит 40,6%.

Расход сброженной смеси осадка и активного ила из ацидофикатора поступающий в стабилизатор будет равняться 762,8 т/сут. По экспериментальным данным (Костюков В.П.) в сухом веществе сырого

осадка ростовской станции аэрации содержится 3,4 % общего азота и 1,7 % фосфора в пересчете на P_2O_5 , а в активном иле 7,0 % и 5,0 % соответственно. Следовательно, при ацидофикации в раствор перейдет азота в аммонийной форме 0,46 т/сут, а фосфора 0,127 т/сут. Тогда прирост концентрации аммонийного азота в потоке осветленных сточных вод, поступающих в аэротенки составит 2,25 мг/дм³, а прирост фосфора 0,62 мг/дм³.

Концентрация азота аммонийного и фосфора в осветленной сточной жидкости с учетом снижения при первичном отстаивании будет соответственно равно 20,2 и 3,4 мг/дм³.

Показатели загрязнения осветленных вод после первой очереди с зоной ацидофикации в первичном отстойнике, поступающих на следующие ступени очистки, следующие (мг/дм³): взвеси-188,5; ХПК-497,1; БПК-318,0; азот аммонийный-20,2; фосфор-3,4.

Сравнение полученных значений загрязнений сточных вод, полученных после первичного отстойника без зоны ацидофикации, позволяет сделать вывод, что созданы благоприятные концентрации по ЛЖК для работы анаэробной зоны аэротенков, а, следовательно, более эффективная их работа по удалению фосфора.

Аналогичные расчеты проведены для первичных отстойников второй очереди.

Вторым этапом реконструкции очистных сооружений является повышение эффективности очистки существующих аэротенков за счет проектирования анаэробной зоны и зоны окисления. Расчет производился для аэротенков первой и второй очереди.

Исходя из состава осветленной сточной жидкости, принята схема биологической очистки с процессами нитрификации и биологического удаления фосфора. Схема реализована выделением в аэротенках первой

ступени анаэробной зоны и зоны окисления, в аэротенках второй ступени - зон нитрификации. Общий объем четырех аэротенков равен 45800 м.

В первом приближении средняя доза активного ила по сухому веществу определена по нагрузке на беззольное вещество активного ила в сутки не менее 200 мгО₂/г·сут и равна 3,9 г/дм³ при зольности ила равному 0,3.

Принятому значению нагрузки на ил соответствует иловый индекс 95 см³/г. В последующих расчетах степень рециркуляции принята 0,6 исходя из способа удаления активного ила из зоны накопления возвратного активного ила.

Способностью аккумулировать фосфор обладают многие группы гетеротрофных микроорганизмов активного ила очистных сооружений. Все эти микроорганизмы относятся и фосфор-аккумулирующим организмам (ФАО).

В иле очистных сооружений (с биологическим удалением фосфора) активны несколько групп гетеротрофных микроорганизмов, конкурирующих за субстрат, особенно за низкомолекулярные жирные кислоты, которые необходимы для реализации фосфор-аккумулирующего механизма. Многие из конкурирующих бактерий не являются ФАО.

ФАО в анаэробных и аноксидных условиях потребляют ацетат и пропионат и накапливают их внутриклеточно в виде полиморфных насыщенных оксикислот (ПНО), параллельно окисляя гликоген. Процесс накопления обеспечивается энергией, выделяющейся при разложении полифосфатов, в результате чего выделяется ортофосфат. В аэробных условиях ФАО растут, потребляя фосфат, накапливая его в виде полифосфатов и возобновляя запас гликогена. Основным источником энергии процесса в аэробных условиях является окисление ПНО.

Реакция потребления летучих жирных кислот (ЛЖК) в анаэробных условиях:



Накопление веществ в аэробном процессе:



Суммарный процесс удаления в анаэробных и аэробных условиях для наблюдаемого коэффициента прироста 0,3 можно записать как:



что дает значение стехиометрического коэффициента для накопления полифосфата:

$$\nu = 0,05 \text{ г Р/ г ХПК (НАс)}.$$

В связи с ингибированием анаэробной стадии нитратом и растворенным кислородом анаэробная зона накопления ПНО размещается перед зоной окисления на первой ступени биологической очистки. Количество удаляемого фосфора фосфатов определяется исходя из количества ЛЖК аккумулированных ФАО в анаэробной зоне. Непосредственно в анаэробную зону подаются осветленные сточные воды в количестве 204264 м³/сут. Концентрация ЛЖК в анаэробной зоне с учетом степени рециркуляции возвратного активного ила равна 36,4 О₂/м³. За счет прироста биомассы гетеротрофных микроорганизмов активного ила системе биологической очистки с приростом ила можно удалить 3,18 мг/дм³.

Количество фосфатов предполагаемое к удалению за счет культивирования ФАО будет 0,22 мг/дм³. Требуемая доза ЛЖК определенная из стехиометрического соотношения образования ПНО для введения в анаэробную зону- 4,4 мг/дм³, что потребует расхода ЛЖК в количестве 0,89 т/сут, а избыток имеющегося количества ЛЖК (по ХПК) будет равно 11 т/сут.

Объем анаэробной зоны и количество ЛЖК, которое возможно использовать для повышения скорости и устойчивости процесса денитрификации на второй ступени биологической очистки установлен из уравнения материального баланса при условии, что концентрация летучих жирных кислот на выходе из анаэробной зоны равна $4 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$. В результате решения уравнения получено, что при концентрации летучих жирных кислот на выходе из анаэробной зоны равной $2 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$ по ХПК, требуемый объем анаэробной зоны составляет $551,4 \text{ м}^3$. Из конструктивных соображений принимаем общий объем анаэробной зоны 600 м^3 при устройстве анаэробной зоны объемом 200 м^3 в начале первого коридора каждого из аэротенков. При двух работающих аэротенках объем анаэробной зоны должен составлять 300 м^3 каждый, при этом потребленное количество ЛЖК на первой ступени биологической очистки будет $1,3 \text{ т/сут}$, количество легкоокисляемой органики (ЛЖК) которое будет направлено в зону денитрификации- $4,4 \text{ т/сут}$, количество азота нитратного, которое можно подвергнуть денитрификации с использованием указанного количества органического субстрата- $1,3 \text{ т/сут}$. При пересчете на объем осветленной воды $204264 \text{ м}^3/\text{сут}$ будет обеспечено снижение концентрации азота нитратного на $4,5 \text{ мг/дм}^3$.

Весь фосфор фосфатов будет задействован в механизмах аккумуляции и прироста, что гарантирует высокую степень извлечения фосфатов из очищенных вод. Возможный дефицит фосфора на первой ступени микроорганизмы активного ила будут восполнять в анаэробной зоне при выделении ортофосфатов ФАО по вышеприведенным реакциям.

На второй ступени источником фосфора будет служить биомасса иловой системы первой ступени, выносимая из вторичных отстойников. Поддержание иловой смеси в анаэробных зонах во взвешенном состоянии и обеспечение массообмена осуществляется при помощи мешалок SR 4640 с диаметром пропеллера 370 мм углом установки лопастей 5° , установленной

мощностью 3,3 кВт, потребляемой - 2,5 кВт обеспечивающими осевую тягу 658 Н каждая. На одну зону требуется одна мешалка, для анаэробных зон всех аэротенков требуется 3 мешалки общей потребляемой мощностью 7,5 кВт.

В зоне окисления, под которую выделены второй и третий коридоры аэротенков производится основное окисление органических веществ сточных вод. Она функционирует как реактор смеситель, следовательно, концентрации компонентов смеси в каждой точке реакционного объема и на выходе из зоны окисления равны.

Концентрацию органических загрязнений по БПК_п на выходе из зоны окисления определим из известного времени пребывания иловой смеси равного 2,6 ч и удельной скорости окисления органики 44,6, в этом случае значение БПК_п составит 32 мгО₂/л. В проведенных расчетах максимальная скорость окисления равнялась 85 мг/(г. без. в-ва ч), концентрация растворенного кислорода в иловой смеси-2 мг/ дм³, константа, характеризующая свойства органических загрязняющих веществ- 33 мгО₂/дм³, константа, характеризующая влияние кислорода- 0,625 мгО₂/дм³, коэффициент ингибирования продуктами распада активного ила-0,07 л/г, концентрация активного ила по сухому веществу-5 г/л.

В результате решения системы уравнений в среде Mathcad определено, что удельная скорость окисления составляет 44,6 мг О₂/г без.в-ва час, при расчетной концентрации активного ила 0,67 г/дм³ в этом случае поддерживается возраст ила - 2 сут., обеспечивающий успешный вывод фосфатов с биомассой активного ила.

Вывод избыточного активного ила из системы сооружений биологической очистки производится из вторичных отстойников первой ступени.

В аэротенках первой ступени сформируется высоконагружаемый активный ил с высокими седиментационными характеристиками за счет выноса легких фракций во вторую ступень. Удельный расход воздуха в очищаемой воде, при пневматической системе аэрации составляет $5,8 \text{ м}^3/\text{м}^3$ сточных вод, при удельном расходе кислорода воздуха, мг на 1 мг снятой БПКп-0,9. Общий расход воздуха на зоны окисления составит $49364 \text{ м}^3/\text{ч}$.

На станции проектируем трубчатые аэраторы «Аква-про-м» НПФ «Экополимер» мелкопузырчатые и эффективно распыляющие кислород, производительность $20 \text{ м}^3/\text{м}^2 \text{ п час}$. Прирост активного ила в системе аэротенка составляет $192 \text{ мг}/\text{дм}^3$ при концентрации взвешенных веществ в сточной воде, поступающей в аэротенк-133 мг/л и коэффициенте прироста-0,3. Суточный прирост биомассы по сухому веществу составит 39,2 т, при концентрации активного ила в рециркуляционном потоке $1,8 \text{ г}/\text{дм}^3$. Объем избыточного ила, направляемого полностью в преаэраторе составит 22015 м^3 .

Таким образом интенсификация работы первичных отстойников за счет комбинирования в одном сооружении двух процессов-осветления и ацеодофикации позволяет позиционировать такую реконструкцию как элемент наилучших доступных технологий. Интенсификация работы аэротенков, достигаемая за счет проектирования анаэробной зоны и зоны нитрификации, позволяет достичь нормированных показателей по фосфору и азоту аммонийному даже при повышении концентраций этих загрязнений в исходной воде. Уменьшение техногенной нагрузки от ОСК является основной концепцией наилучших доступных технологий в ЖКХ.

Литература

1. Стрельцов С.А. Реконструкция Ново-Курьяновских очистных сооружений/ С.А. Стрельцов, Н.А. Климова, Н.Л. Пшенко// Водоснабжение и санитарная техника, 2014. №7. С 35-40.

2. Справочник наилучших доступных технологий для очистки сточных вод на предприятиях отраслей промышленности и жилищно-коммунального хозяйства России/ Вектор экологической сертификации-зеленые стандарты// Москва, 2014. 327 с.

3. Кофман В.Я. Извлечение азота и фосфора в виде струвита из сточных вод с высоким содержанием биогенов/ В.Я. Кофман// Водоснабжение и санитарная техника, 2017. №3. С. 34-39.

4. Шози Ж. Устойчивое управление биологическими осадками сточных вод: обзор наилучших доступных технологий для стабилизации и снижения объема осадков / Ж. Шози, И. Габриель, Вун Чин, И. Пуссад, Э. Ли, Ж.-Ф. Бернар// Водоснабжение и санитарная техника, 2015. №6. С.49-59.

5. Серпокрылов Н.С., Петренко С.Е., Борисова В.Ю. Повышение эффективности и надежности очистки сточных вод на разных стадиях эксплуатации ОСК// Инженерный Вестник Дона, 2013, №2 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1602.

6. Серпокрылов Н.С., Смоляниченко А.С., Саенко М.Н., Серпокрылов Е.Н., Фесенко Е.Н. Аэраторы в очистке сточных вод/ Учебное пособие/ Ростов-на-Дону. Ростовский государственный строительный университет, 2012. 180 с.

7. Strategic Planning for Energy and the Environment of the Association of Energy Engineers. Vol.16, № 4, 1997. Atlanta, Georgia, USA. pp. 14-27.

8. Серпокрылов Н.С., Кожин С.В., Тайвер Е.А. Очистка сточных вод бассейнов для содержания ластоногих до норм оборотного водоснабжения // Инженерный вестник Дона, 2011, №1 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n1y2011/380.

9. Panser Curtis C, Komanowsky M., Senske G.E. Improved performance in combined nitrification - denitrification of tannery waste // J.Water Pol. Con. Fed., 1981, 53, 9. pp. 1434-1439.



10. Сизов, А.А. Серпокрьлов Н.С. Надежность очистки периодических сбросов сточных вод//Вестник Волгоградского государственного архитектурного строительного университета. Строительство и архитектура, 2010. №17. С. 123 -127.

References

1. Strel'cov, N.A. Klimova, N.L. Pshenko. Vodosnabzhenie i sanitarnaja tehnika, 2014. №7. pp. 35-40.
2. Vektor jekologicheskoj sertifikacii-zelenye standartyx [Vector of environmental certification-green standards]. Moskva, 2014. 327 p.
3. V.Ja. Kofman. Vodosnabzhenie i sanitarnaja tehnika, 2017. №3. pp. 34-39.
4. Zh. Shozi, I. Gabriel', Vun Chin, I. Pussad, Je. Li, Zh.-F. Bernar. Vodosnabzhenie i sanitarnaja tehnika, 2015. №6. pp. 49-59.
5. N.S.Serpokrylov N.S., Petrenko S. E., Borisova V. Ju. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №2. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1602.
6. Serpokrylov N.S., Smoljanichenko A.S., Saenko M.N., Serpokrylov E.N., Fesenko E.N. Rostov-na-Donu. Rostovskij gosudarstvennyj stroitel'nyj universitet [Rostov State University of Civil Engineering], 2012. 180 p.
7. Strategic Planning for Energy and the Environment of the Association of Energy Engineers. Vol.16, № 4, 1997. Atlanta, Georgia, USA.
8. Serpokrylov N.S., Kozhin S.V., Tajver E.A. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2011, №1. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n1y2011/380.
9. Panser Curtis C, Komanowsky M., Senske G.E. Improved performance in combined nitrification - denitrification of tannery waste. J.Water Pol. Con. Fed., 1981, 53, 9. pp. 1434-1439.
10. Sizov, A.A. Serpokrylov N.S. Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturnogo stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura, 2010. №17. pp. 123 -127.