

1. Стан світу. – К.: Інтелсфера, 2001. – 284 с.
2. Дмитриева Е.А., Игнатенко Л.Г., Колдоба И.В. Социально-экологические проблемы качества воды водоемов – источников питьевого водоснабжения // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып.55. – К.: Техніка, 2004. – С.50-59.
3. PRAMER В. Про якість води, призначеної для споживання людиною / Директива Ради ЄС №98/83/ЄС. – Брюссель, 1998. – С.1-29.
4. Гончарук В.В., Скубченко В.Ф., Чернявская А.П., Мешкова-Клименко Н.А. Актуальность, новизна, концептуальная и критериальная база предлагаемого проекта государственного стандарта «Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения, гигиенические и экологические требования к качеству воды и правила выбора» // Матеріали наук.-практ. семінару «Актуальні питання якості води в Україні – 2006». – К., 2006. – С.30-56.
5. Гончарук В.В., Жупинский В.Н., Чернявская А.П., Скубченко В.Ф. Разработка эколого-гигиенической классификации качества поверхностных вод Украины – источников централизованного питьевого водоснабжения // Химия и технология воды. – 2003. – №2. – С.106-157.
6. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy // Official Journal of the European Communities, 22.12.2000, EN, L. 327/1.

Отримано 21.01.2008

УДК 628.35

С.А.ГОРНОСТАЛЬ, А.П.СОЗНИК, д-р физ.-матем. наук
Університет громадянської захисти України, г.Харьков

ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССОВ, ПРОИСХОДЯЩИХ В СИСТЕМЕ «АЭРОТЕНК – ВТОРИЧНЫЙ ОТСТОЙНИК», И ИХ ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Анализируются основные процессы, происходящих в сооружениях биологической очистки сточных вод. Для описания эти процессы предложено разбить на четыре отдельные фазы, в каждой из которых рассматривать физико-химические явления в отдельности с последующим согласованием на разделе фаз.

Сточные воды, образующиеся в результате хозяйственно-бытовой, производственной деятельности человека, поступают на сооружения, где очищаются по разным показателям очистки от загрязнений до концентраций, допустимых к сбросу в водоем [1, 2].

Нарушения режима работы сооружений биологической очистки аэротенк – вторичный отстойник (вынос активного ила) приводят к попаданию в водоем загрязнений в концентрациях, превышающих допустимые. Это в свою очередь может привести к возникновению чрезвычайной ситуации [3, 4] – значительному ухудшению условий жизнедеятельности людей и животных, большим экономическим убыткам, ухудшению состояния окружающей природной среды (например, вспышка инфекционных заболеваний, развитие процессов гниения в

водоеме, гибель рыбы, невозможность использования водоема для отдыха людей и рыбной ловли). Таким образом, качество очистки сточных вод на сооружениях биологической очистки будет определять качество воды в водоемах, используемых для питьевого, культурно-бытового и рыбохозяйственного водопользования.

Процесс биологической очистки можно описать как непосредственный контакт загрязнений с оптимальным количеством организмов активного ила. Протекает этот процесс в присутствии соответствующего количества растворенного кислорода в течение необходимого периода времени с последующим отделением активного ила от очищенной воды. Несмотря на значительные достижения в изучении динамики и развития микробных популяций, многие вопросы все еще остаются нерешенными, и при расчете основных параметров очистных систем до сих пор руководствуются эмпирическими соображениями.

Определяющую роль в процессе разложения органического вещества в естественных условиях играют бактерии. Скорость роста бактерий чрезвычайно велика и практически любой процесс, идущий с выделением свободной энергии, может быть использован ими, спектр веществ, которые могут служить пищей для бактерий, довольно разнообразен [5]. Существенное влияние на процессы окисления оказывают различные виды взаимодействия (отношения симбиоза, метабиоза, конкуренция, хищничество) между микроорганизмами [9, 12]. Необходимо учитывать, что при рециркуляции в системе биологической очистки эти взаимоотношения претерпевают значительные изменения. Все это чрезвычайно затрудняет как экспериментальное изучение, так и моделирование процесса потребления загрязнений активным илом.

Нами предлагается все стадии очистки условно разделить на четыре фазы, в каждой из которых происходят свои специфические физико-химические процессы. Хотя эти фазы и являются взаимосвязанными, описание явлений в каждой фазе должно, на наш взгляд, опираться на свою математическую модель. При этом результаты моделирования в каждой фазе должны быть согласованы между собой. Рассматриваемое деление на четыре фазы соответствует конструкции четырехкоридорного аэротенка (смесительного типа с регенератором и рассредоточенной подачей сточных вод) и вторичного отстойника радиального типа.

Фаза 1. Активный ил, в основном в виде хлопьев, поступает на регенерацию в первый коридор аэротенка для восстановления своих сорбционных и окислительных свойств. Для насыщения ила кислородом происходит интенсивное аэрирование его подачей воздуха по всей длине коридора. Активный ил, поступающий в регенератор, характе-

ризуется количественным преобладанием в своем составе хлопьев (N_X) и незначительным количеством дисперсных бактерий (N_D). Обычно, иловый индекс на входе в регенератор $J_{\text{вх.рег}} \leq 100-120$ мг/л, а доза ила $a_{\text{вх.рег}} \approx 10$ г/л. Значения этих величин характеризует способность ила к оседанию.

Образование хлопьев происходит в основном в четвертом коридоре аэротенка и во вторичном отстойнике и обусловлено практически полным окислением органических соединений сточных вод [12]. В регенераторе количество остаточных загрязнений мало. Под действием подаваемого воздуха ил поддерживается во взвешенном состоянии и не имеет возможности оседать, однако при интенсивной аэрации возникают большие турбулентные движения жидкости, которые приводят к двум конкурирующим процессам: разрушению хлопьев ила на дисперсные составляющие и образованию хлопьев, за счет увеличения частоты столкновения [5]. Одновременно осуществляется синтез клеток микроорганизмов и окисление трудно окисляемых азотосодержащих органических веществ, причем основным строительным материалом для синтеза служат органические вещества, которые были сорбированы хлопьями на выходе из аэротенка и не были израсходованы в отстойнике, так как скорость их окисления относительно мала. Такие явления способствуют тому, что к моменту подачи сточных вод во второй коридор аэротенка возникает значительное количество «голодных» дисперсных бактерий, происходит подготовка микроорганизмов к процессу интенсивного поглощения и переработки органических веществ, содержащихся в сточных водах. Образование дисперсных бактерий является существенным моментом регенерации, так как такие микроорганизмы окисляют органические вещества сточных вод более интенсивно, чем хлопья. Одновременно в этой фазе происходят процессы автолиза [11] и хищническое уничтожение бактерий бактериофагами и простейшими.

В связи со сказанным выше, отметим, что процессы, происходящие в этой фазе, а также ее длительность оказывают существенное влияние на количество микроорганизмов, поступающих во вторую фазу, а значит и на стабильность работы аэротенка. Поэтому длина первого коридора, количество подаваемого активного ила и воздуха определяют время прохождения рассмотренных выше процессов. Таким образом, взаимопревращение микроорганизмов в первой фазе можно описать моделью, согласно которой происходит уменьшение количества N_X и увеличение за счет этого количества N_D с одновре-

менным уменьшением N_D за счет самоокисления и отмирания. На выходе из регенератора соотношение $N_D > N_X$. При этом происходит частичное изменение видового состава активного ила и уменьшение его биомассы. Иловый индекс на выходе из регенератора, как правило, $J_{\text{вых.рег}} > 120$ мг/л, а доза ила $a_{\text{вых.рег}} \approx 6-7$ г/л, т.е. способность ила к оседанию уменьшается.

Фаза 2. Во втором коридоре происходит смешение активного ила со сточной жидкостью, которая может подаваться как сосредоточенно, так и рассредоточенно по длине коридора. Отметим, что поскольку на комплексе биологической очистки «Диканевский» (КБОД) подача сточных вод осуществляется рассредоточенно по всей длине коридора, то будем рассматривать именно этот вариант.

Во второй фазе начинается процесс биологической очистки сточных вод, осуществляемый путем адсорбции, абсорбции и окисления активным илом органического вещества, находящегося в коллоидном состоянии или в виде мелких суспензий. На единицу массы ила приходится большая масса загрязнений. Интенсивность аэрации остается на прежнем уровне (как и в первой фазе), так как сохраняется высокая потребность в кислороде для окисления загрязнений, поступивших со сточной жидкостью, а также для большего контакта органических загрязнений с активным илом и для поддержания активного ила во взвешенном состоянии. Происходит интенсивный синтез клеточного вещества, размножение микроорганизмов и изменение их видового состава, биомасса дисперсных бактерий и хлопьев начинает возрастать. Если окисление проводится достаточно долго, то после использования исходного органического вещества начинается процесс окисления клеточного вещества бактерий, который осуществляют микроорганизмы-гетеротрофы.

Скорость процесса биохимического окисления зависит в первую очередь от наличия свободного кислорода и идет в две последующие стадии. В первую очередь микроорганизмами усваиваются (перерабатываются) легко окисляемые органические вещества, на химическое преобразование которых расходуется большая (основная) часть кислорода от полного количества необходимого для очистки. Поскольку скорость окисления высока, то после усвоения активным илом растворенного кислорода происходит резкое снижение БПК (на 60-80%).

Для описания процессов, происходящих в этой фазе, необходима модель, которая учитывает достаточно резкое возрастание количества активного ила (как в виде дисперсных бактерий, так и в виде

хлопьев); уменьшение субстрата (легко усваиваемого бактериями органического вещества); видовой состав активного ила. Такая модель должна определять длительность этой фазы, подачу сточных вод с распределением по всей длине второго коридора, а, значит, и необходимое количество подаваемых стоков.

Фаза 3. В этой фазе рассматриваются процессы, происходящие в 3-м и 4-м коридорах аэротенка после окончания подачи сточных вод. Наступают благоприятные условия для развития автотрофных культур, использующих для своего питания в основном углекислый газ и создающих органические вещества своих клеток из неорганических веществ. Автотрофы являются нитрификаторами, и в процессе их развития происходит окисление азота сначала до солей азотистой кислоты, а затем до солей азотной кислоты – нитратов, то есть процесс нитрификации. Значение процесса нитрификации состоит в том, что таким образом накапливается запас кислорода, который может быть использован для окисления органических веществ, не содержащих азот, тогда, когда полностью израсходован для этого процесса весь свободный (растворенный) кислород, например, во вторичном отстойнике.

Количество потребляемого кислорода для окисления остающейся органики и процессов нитрификации уменьшается с течением времени. Поэтому интенсивность аэрации в 3-м и 4-м коридорах аэротенка обычно уменьшается примерно в два раза. Аэрация определенной интенсивности необходима для поддержания ила во взвешенном состоянии и для предотвращения оседания значительно возросшей биомассы активного ила.

К концу третьей фазы очистки (в 4-м коридоре) свободных питательных веществ для микроорганизмов практически не остается, а все оставшиеся питательные вещества аккумулируются на поверхности микроорганизма. Поэтому для продолжения своего существования микроорганизмам энергетически выгодно уменьшать свою площадь абсорбции и образовывать единые конгломераты, т.е. собираться в сообщества в виде хлопьев. При этом, чем полнее биологическая очистка, тем крупнее и плотнее образующиеся хлопья. Количество дисперсных бактерий уменьшается за счет образования хлопьев в процессе коагуляции. В нормально функционирующем аэротенке к окончанию третьей фазы иловый индекс не должен превышать 80-90 мг/л, а доза ила обычно составляет 1-3 г/л.

Модель, описывающая процессы, происходящие в этой фазе, должна учитывать уменьшение и исчезновение легко усваиваемых органических веществ, продолжение процессов нитрификации и хлопьеобразования, снижение интенсивности размножения, процесс

активного уничтожения бактерий простейшими.

Фаза 4. Смесь активного ила и очищенной жидкости поступает во вторичный отстойник, который является существенным элементом системы очистки. Здесь происходит отделение очищенной жидкости от активного ила за счет оседания хлопьев ила на дно отстойника. Этот процесс происходит тем скорее, чем больше плотность ила, т.е. чем меньше иловый индекс.

Ил, выпадающий во вторичных отстойниках, содержит адсорбированные органические вещества, которые еще не окислились. Осевший на дно отстойника активный ил перекачивается в регенератор, а избыток ила, возникающий за счет его прироста, удаляется. Время нахождения активного ила в системе трубопроводов и во вторичном отстойнике регламентируется тем, что активный ил не терпит залежей, которые приводят к излишнему его уплотнению, и при малейшем застое начинает гибнуть от собственных метаболитов, а также происходит процесс автолиза [11]. Даже в условиях удовлетворительной выгрузки ила из отстойника, он поступает в регенератор с повышенной потребностью в кислороде, поскольку находится во вторичном отстойнике 1,5-2,0 ч.

Объем возвратного ила, удаляемого из вторичных отстойников и направляемого в регенератор, составляет от 30 до 70% от очищаемого объема сточных вод [2], чем ниже средняя доза ила и выше иловый индекс, тем больший объем ила требуется возвращать в регенератор. Так, при возрастании удельных нагрузок на ил ухудшается его способность к оседанию, вплоть до вспухания, и в систему необходимо возвращать максимальное количество ила. Если на сооружениях поддерживается меньший процент рециркуляции, чем расчетный, то ил во вторичных отстойниках переуплотняется, и будет загнить, а в аэротенках возрастут удельные нагрузки за счет низкой концентрации ила. Если поддерживается больший процент рециркуляции, то ил во вторичных отстойниках будет уплотнен недостаточно. В том и в другом случае повысится вынос взвешенных веществ из вторичных отстойников и ухудшится качество очистки.

Физическое моделирование происходящих явлений в этой фазе должно учитывать перечисленные выше факторы, а также описывать изменение значений илового индекса, дозы ила и учитывать способность ила к оседанию.

В связи с вышесказанным, по нашему мнению, актуальным является развитие и апробация математических моделей, соответствующих каждой из четырех фаз. При этом для отдельных фаз можно, по-видимому, использовать существующие теоретические подходы, мо-

дифицируя их с учетом особенностей происходящих физических процессов в каждой из них. Таким образом, проблема описания полного цикла работы аэротенка и вторичного отстойника может быть разбита, по крайней мере, на четыре отдельные задачи. Каждую из них можно описать и решить в более простых моделях, учитывая необходимость согласования результатов расчетов на стыке фаз. В заключение отметим, что идея разбиения всех процессов на отдельные фазы была использована, в частности, в [11], где предложены простейшие системы уравнений интегрального типа для трех фаз: регенератора, как отдельного сооружения, аэротенка (без разбиения на фазы) и вторичного отстойника.

1. СанПиН №4630-88. Охрана поверхностных вод от загрязнения. – М.: Стройиздат, 1988. – 119 с.
2. СНиП 2.04.03-85. Канализация. Наружные сети и сооружения. – М.: Стройиздат, 1985. – 75 с.
3. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2006 році. – К., 2007. – 236 с.
4. Таварткіладзе І.М., Федорець М.В., Чібіряков В.К. Розрахунок балансового рівняння для визначення віку біоценозу // Науково-практичні проблеми моделювання та прогнозування надзвичайних ситуацій: Зб. наук. пр. Вип.5. – К., 2002. – С.115-118.
5. Вавилин В.А., Васильев В.Б. Математическое моделирование процессов биологической очистки сточных вод активным илом. – М.: Наука, 1979. – 119 с.
6. Брагинский Л.Н. и др. Моделирование аэрационных сооружений для очистки сточных вод. – Л.: Химия, 1980. – 144 с.
7. Вавилин В.А. Нелинейные модели биологической очистки и процессов самоочищения в реках. – М.: Наука, 1983. – 158 с.
8. Вавилин В.А. Обобщенная модель и механизм аэробной биологической очистки // ДАН СССР. – 1981. – №5. Т.258. – С.1269-1273.
9. Яковлев С.В., Воронов Ю.В. Водоотведение и очистка сточных вод. – М.: АСВ, 2002. – 704 с.
10. Вольтерра В. Математическая теория борьбы за существование. – М.: Наука, 1976. – 288 с.
11. Олійник О.Я., Зябліков С.М. Особливості моделювання очистки стічних вод у системі аеротенк-відстійник-регенератор // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідраліки: Зб. наук. пр. Вип.4. – К., 2005. – С.46-53.
12. Карюхина Т.А., Чурбанова И.Н. Химия воды и микробиология. – М.: Стройиздат, 1995. – 208 с.

Получено 15.02.2008

УДК 628.193

Е.Н.РЕПКО

КП «ПТП «Вода», г.Харьков

РАСЧЕТ ВЕРОЯТНОСТИ ПРЕВЫШЕНИЯ ПДК ХЛОРОФОРМА, ОБРАЗУЮЩЕГОСЯ ПРИ ХЛОРИРОВАНИИ В ПИТЬЕВОЙ ВОДЕ

Собраны исходные данные и разработана методика расчета вероятности превы-