

торых других условий. Как известно, неравномерность работы тонкослойных элементов при неудачном их размещении в отстойной зоне может быть значительной, причем некоторая их часть вообще оказывается не нагруженной. Полученные зависимости дают возможность оценить распределение расхода в блоке тонкослойных элементов с восходящим течением жидкости при переменном сечении распределительного канала, глубина которого линейно изменяется по его длине [4, 5].

1.Иванов В.Г. Тонкослойные отстойники для интенсификации очистки природных и сточных вод: Дисс. ... д-ра техн. наук: 05.23.04. – СПб., 1998.

2.Иванов В.Г., Семенов В.П., Симонов Ю.М. Применение тонкослойных отстойников в целлюлозно-бумажной промышленности. – М.: Лесная промышленность, 1989. – 176 с.

3.Иванов В.Г. Водоснабжение промышленных предприятий. – СПб.: ПГУПС, 2003. – 537 с.

4.Иванов В.Г. и др. Совершенствование конструкций и методы расчета тонкослойных отстойников сточных вод: обзорная информация. Целлюлоза, бумага, картон / ВНИИПИЭИЛеспром. – М., 1979. – 118 с.

5.Иванов В.Г., Черников Н.А. Водоотводящие системы промышленных предприятий. – СПб.: ООО «Изд-во «ОМ-Пресс», 2007. – 239 с.

Получено 18.02.2010

УДК 628.157

М.В.БЕСКРОВНАЯ, канд. техн. наук
Донецкий национальный университет

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОЧИСТКИ ОТ СОЕДИНЕНИЙ АЗОТА В ПРОТОЧНЫХ БИОРЕАКТОРАХ

Предлагается математическая модель процесса биологической очистки сточных вод от соединений минерального азота флокулами активного ила в проточном реакторе бесперывного действия.

Пропонується математична модель процесу біологічного очищення стічних вод від сполук мінерального азоту флокулами активного мулу в проточному реакторі безпервної дії.

The mathematical model for the process of biological sewage sanitation of mineral nitrogen with active flock sludge in a cross-flow reactor of continuous operation is developed.

Ключевые слова: модель, одновременная нитри-денитрификация, биореактор.

Вода является основой жизни на Земле. Однако интенсивное влияние человека на природу привело к такому загрязнению водных ресурсов планеты, что Конференция ООН по окружающей среде и развитию назвала эту проблему глобальной и требующей неотложного решения на пути к «стойкому развитию» общества.

Существенный вклад в загрязнение водного бассейна вносят канализационные очистные сооружения (КОС). Несовершенство технологий очистки сточных вод, отсутствие мощностей по обезвоживанию осадков и перегруженность иловых площадок приводят к прогрессирующему загрязнению водных объектов и воздуха.

Если сегодня проанализировать состояние канализационно-очистных сооружений (КОС) Донецкой области, то стоит отметить, что почти 48% стоков проходят очистку на больших очистных станциях, еще 27% подаются на КОС средней продуктивности и меньше чем 10% стоков поступают на небольшие очистные сооружения. В то же время количество небольших сооружений составляет 61% от всех КОС.

Сегодня самым дешевым и экологически безупречным, а поэтому наиболее употребляемым способом очистки сточных вод от минерального азота (МА) является биологический.

Целью работы являлась оценка эффективности микробиологической очистки бытовых сточных вод в зависимости от размера флокул активного ила и концентрации растворенного кислорода в проточном реакторе непрерывного действия с эрлифтным перемешиванием.

Нами была разработана математическая модель процессов, протекающих при очистке воды от МА флокулами активного ила. При построении модели сделаны следующие допущения:

- флокулы имеют сферическую форму;
- флокула движется вместе с потоком, т.е. ее скорость относительно жидкости равна нулю и массоперенос вблизи флокулы осуществляется за счет молекулярной диффузии;
- транспорт химических веществ внутри и вне флокулы осуществляется только за счет диффузии;
- изменением численности популяций микроорганизмов за время, соответствующее максимальному расчетному времени, можно пренебречь;
- реакции подчиняются кинетическим уравнениям химических реакций соответствующих порядков и химические превращения, приводящие к удалению МА, протекают только внутри флокулы.

Исследуемая область разбивалась на две части: непосредственно флокула сферической формы и окружающая среда кубической формы. Расчетные уравнения имеют вид:

- в окружающей среде

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} = D_i \left(\frac{\partial^2 C_i}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C_i}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 C_i}{\partial z^2} \right);$$

- внутри флоккулы

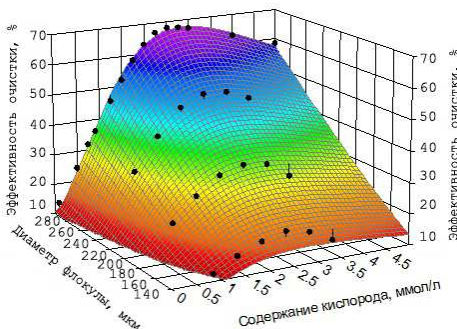
$$\frac{\partial C_i}{\partial t} = D_i \left(\frac{\partial^2 C_i}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C_i}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 C_i}{\partial z^2} \right) \pm r_i,$$

где D_i – коэффициенты диффузии, взятые из [1]; C_i – концентрации кислорода (C_1), аммония (C_2) и нитрата (C_3); r_i – скорости их биохимических превращений dC_i/dt , равные $r_1=r_2=-k_1C_1^2C_2$ и $r_3=k_1C_1^2C_2+k_2C_3/(1+C_1)$.

Значения коэффициентов k_i ($k_1=0,1 \text{ л}^2\text{моль}^{-2}\text{с}^{-1}$, $k_2=0,01 \text{ с}^{-1}$) оценивали по данным [2].

Исследования проводили с городскими сточными водами с концентрацией загрязнений по БПК_{полн} – 120...200 мг/дм³, общему азоту – 50...70 мг/дм³.

Результаты расчетов эффективности микробиологической очистки воды от минерального азота приведены на рисунке. Характерно, что для всех исследованных размеров флоккул эффективность удаления МА в зависимости от концентрации растворенного кислорода имеет экстремальный характер с максимумом $C_{O_2} \sim 2,5 \text{ мг/л}$ и возрастает с увеличением диаметра флоккулы. Это согласуется с так называемой физической теорией одновременной нитри-денитрификации (ОНД) [3], согласно которой это явление становится возможным благодаря существованию в глубинных слоях флоккул аэробной и анаэробной зон, протяженность которых увеличивается с возрастанием размеров флоккулы.



Зависимость эффективности микробиологической очистки воды от минерального азота Э, %, от концентрации растворенного кислорода O_2 , мг/л и размеров флоккул, r , мкм

Результаты расчетов были далее сопоставлены с экспериментальными данными.

Установленному экспериментальному факту можно дать следующее физическое истолкование. Повышение эффективности про-

цесса очистки при увеличении размера флоккул обусловлено ограничением диффузии кислорода, т.е. главное в этом процессе то, что реакции идут в самой флоккуле при наличии отрицательного градиента концентрации кислорода.

Эксперименты по влиянию на степень удаления МА концентрации растворенного кислорода проводили на натурном проточном био-реакторе (пгт. Новый Свет). С практической точки зрения очень важно знать, при каком содержании кислорода наиболее эффективно идет очистка воды от соединений минерального азота. Экспериментально показано, что наиболее эффективно идет процесс очистки воды от минерального азота при концентрациях кислорода $C \approx 3\text{--}4$ мг/л.

Таким образом, прямая экспериментальная проверка качественно согласуется с результатами расчетов.

В результате очистки сточных вод при оптимальном технологическом режиме получено высокое качество очищенных вод с обеспечением ПДК: аммонийному азоту – $0,4\ldots 0,5$ мг/дм³, азоту нитратному – $0,01\ldots 0,02$ мг/дм³, нитратам – $3\ldots 5$ мг/дм³.

При комплексных исследованиях небольших очистных сооружений из 37 проверенных в удовлетворительном состоянии оказалось 17. Именно в этом списке находятся очистные сооружения пгт. Новый Свет.

В процессе подготовки настоящей статьи появилась работа [4], посвященная моделированию явления ОНД в реакторе с последовательной загрузкой. В рамках сложной модели, включающей помимо биохимических превращений МА также и процессы роста и гибели микроорганизмов, авторы рассчитали зависимость степени удаления соединений МА от размера флоккул активного ила. Зависимость имеет S-образный характер, причем эффективность возрастает до значения диаметра $d \approx 1$ мм и далее не увеличивается. Результаты расчетов авторы подтвердили прямыми экспериментами, включающими измерение концентраций различных форм МА по глубине флоккулы при помощи специального микроэлектрода.

Нами показано, что условия для протекания ОНД реализуются на станции по очистке бытовых сточных вод, которая состоит из ряда работающих параллельно проточных реакторов-аэротенков непрерывного действия.

Выводы

1. Проведено математическое моделирование явления одновременной нитри-денитрификации (ОНД) с точки зрения эффективности очистки сточной воды от соединений минерального азота (МА) и проведено сравнение полученных результатов с данными экспериментов.

2. Зависимость эффективности очистки от концентрации растворенного кислорода имеет экстремальный характер – наиболее эффективно процесс очистки воды от минерального азота идет при концентрации кислорода 2-3 мг/л; дано физическое объяснение установленному факту, а именно: при $C_{\text{опт}}$ в аэротенке возникает равновесно-оптимальное соотношение аэробных и анаэробных зон в объеме флокулы, что положительно сказывается на одновременном протекании процессов нитрификации и денитрификации (ОНД).

3. Полученные данные использованы для оптимизации процесса очистки сточных вод (Старобешевская ТЭС, пгт. Новый Свет) на действующих очистных сооружениях.

1. Picioreanu, C. Modelling the effect of oxygen concentration on nitrite accumulation in a biofilm airlift suspension reactor / C. Picioreanu, van MCM Loosdrecht, J.J. Heijnen // Water Sci Technol. – 1997. – P.147-156.

2. Henze, M. Activated sludge model / M. Henze, C.P.L. Jr., Grady, W. Gujer, G.V.R. Marais, T. Matsuo // Scientific and Technical Report. – 1987. – No. 1, IAWPRC, London.

3. Hippen, A. Aerobic deammonification in the waste waters / A. Hippen, K.H. Rosenwinkel, G. Baumgarten // Water Science and Technology. – 1997. – V. 35. – P.111-120.

4. Bing-Jie, Ni, You-Peng Chen, Shao-Yang Liu, Fang Fang, Wen-Ming Xie, Han-Qing Yu. Biotechnology and Bioengineering, 2009 (submitted for publication).

Получено 10.02.2010

УДК 628.144 : 628.247

В.М.САХНОВСЬКА

Донбаська національна академія будівництва і архітектури, м.Макіївка

ВИЗНАЧЕННЯ БАЗОВИХ ТА ДОДАТКОВИХ ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА НАДІЙНІСТЬ ТА ЕКОЛОГІЧНУ БЕЗПЕКУ МЕРЕЖ ВОДОПОСТАЧАННЯ І ВОДОВІДВЕДЕННЯ

Розглянуто основні фактори, що впливають на екологічну безпеку та надійність мереж водопостачання та водовідведення. За допомогою математичної моделі, що ґрунтується на теорії графів, визначено значимість кожного з цих факторів.

Рассмотрены основные факторы, влияющие на экологическую безопасность и надежность сетей водоснабжения и водоотведения. С помощью математической модели, основанной на теории графов, определена значимость каждого из этих факторов.

Basic factors, influencing on ecological safety of networks of water-supply and water disposal, are considered. By a mathematical model, based on the theory of the graphs, meaningfulness is certain each of these factors.

Ключові слова: надійність, водопостачання, водовідведення, екологічна безпека, теорія графів, математична модель, ранжування.

Трубопровідні мережі є невід'ємною частиною комунального господарства держави, вартість яких складає від 40 до 70% вартості всієї