

нат // Украинский химический журнал. – 1980. – Т.46, №3. – С.270-274.

12.Иванов А.М., Михайловский В.Я., Галабицкий Б.В., Червинский К.А. Кинетика превращения бикарбоната натрия, калия и кальция в разбавленных водных растворах // Журнал общей химии. –1979. – Т.49, №3. – С.481-485.

13.Иванов А.М., Михайловский В.Я., Галабицкий Б.В., Червинский К.А. Влияние гидродинамических факторов на устойчивость водных растворов бикарбоната кальция // Украинский химический журнал. – 1978. – Т.44, №7. – С.721-724.

14.Шуб В.Б., Хвостак Л.Л., Пантелют Г.С., Муха В.И. Водооборотные системы на металлургических предприятиях // Водоснабжение и санитарная техника. – 1987. – №12. – С.25-26.

15.Никулин С.Е. Усовершенствованная система оборотного водоснабжения станов горячей прокатки: Дисс. ... канд. техн. наук. – Харьков: НДПИ «Энергосталь», 1994. – 233 с.

16.Левашова Ю.С. Очищення стічних вод від механічних мінеральних домішок у прямооточних вихрових апаратах: Дис. ... канд. техн. наук. – Харків: ХДТУБА, 2007. – 145 с.

*Получено 25.12.2009*

УДК 628.35

А.Я.ОЛЕЙНИК, д-р техн. наук

*Киевский национальный университет строительства и архитектуры*

А.И.ТЕТЕРЯ, канд. техн. наук

*ООО "UKRBIOTAL", г. Ровно*

## **СУЩЕСТВУЮЩИЕ МОДЕЛИ И МЕТОДЫ РАСЧЕТА ПРОЦЕССОВ ОЧИСТКИ НА УСТАНОВКАХ МАЛОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ**

Приведены существующие модели расчета процессов биологической очистки на установках малой производительности (УМП). Проанализирована возможность применения моделей различных порядков для различной степени очистки.

Наведено існуючі моделі розрахунку процесів біологічного очищення на установках малої продуктивності (УМП). Проаналізовано можливість застосування моделей різних порядків для різного ступеня очищення.

In article existing models of calculation biological clearing processes on small productivity installations are resulted. The opportunity of models application of various orders for a various degree of clearing is analysed.

*Ключевые слова:* установки малой производительности, модель, нитрификация, денитрификация, биологическая очистка.

В установках и сооружениях малой производительности используются различные технологии и методы утилизации сточных вод в зависимости от решаемых задач и реальных возможностей их реализации. Однако, наиболее эффективным и перспективным в случае малых количеств сточных вод, загрязненных преимущественно органическими веществами, соединениями азота и фосфора и некоторых других являются биологические методы, основанные, как известно, на

способностях микроорганизмов в процессе метаболизма трансформировать и утилизировать указанные выше загрязнения. При этом процесс биологической очистки связан с жизнедеятельностью микробной популяции, их видовым составом, ростом, активностью, и в целом, зависит от условий питания, аэрации средней температуры, pH и др. В условиях создания современных защитных безотходных технологий наряду с использованием биологически очищенной воды и на малых установках и сооружениях необходимо решать вопросы утилизации и переработки образующей микробной массы активного ила. Формирования и характер изменения состава биоценоза активного ила в процессе очистки описаны на основе стехиометрических балансовых уравнений сложных и взаимосвязанных этапов взаимодействия органического субстрата с микроорганизмами (окисление, синтез, лизис и т.д.). Метод биологической очистки сточных вод от соединений азота по оценке отечественных и зарубежных специалистов является наиболее эффективным, экологичным и экономичным [1, 2]. Биологическая очистка от соединений азота преимущественно аммонийных солей, как известно, происходит последовательным проведением качественно отличающихся процессов нитрификации и денитрификации. При этом для активного протекания процесса нитрификации характерно практически полное отсутствие органических веществ (аэробные условия очистки), для процессов денитрификации – практически полное отсутствие растворенного кислорода (аноксидные условия очистки).

Сточные воды, поступающие на биологическую очистку, имеют сложный многокомпонентный состав органического вещества и обычно характеризуется некоторыми усредненными значениями БПК или ХПК в единицу объема среды. Так как для обеспечения комплексной биологической очистки от указанных загрязнений по технологии необходимы рециркуляции с большими расходами, то наиболее эффективным в системе УМП является наличие реакторов в виде аэротенков-смесителей с распределенным биоценозом (активным илом). Поэтому при дальнейшем рассмотрении моделей и методов расчета необходимо учитывать особенности очистки в аэротенках. При этом необходимо помнить, что, с одной стороны, система УМП типа BIOTAL для обеспечения комплексной очистки состоит из отдельных взаимосвязанных блоков-реакторов, работающих по принципу идеального перемешивания, и в связи с этим в каждом из них допускается возможность решения различных задач очистки, а с другой – имеющееся в литературе большое разнообразие предложенных моделей и методов, в общем, описывают процессы очистки и недостаточно учитывают конструктивные особенности реакторов и режим их работы. Поэтому

следует провести оценочный анализ тех существующих моделей и методов расчета, которые непосредственно могут иметь отношение к решению поставленных задач очистки преимущественно городских (бытовых) сточных вод на УМП.

В практике биологической очистки известны модели, анализ и сферы применения которых приведены в [1, 3, 4], и в общем случае имеют вид:

$$\frac{dl}{dt} = \rho(L)X, \quad (1)$$

где  $\rho(L) = \frac{\mu_m}{Y} = \text{const}$  – для модели нулевого порядка;

$\rho(L) = k\sqrt{L}$  – для модели промежуточного типа;  $\rho(L) = k_1 L$  – для

модели первого порядка;  $\rho(L) = k_0 (L/L_0)^n L$  – для моделей более высокого порядка  $n$  ( $n \geq 1$ ).

Проведенный анализ с привлечением экспериментов показал [1, 2, 5], что модели нулевого и ( $n < 1$ ) порядков могут быть использованы для грубой очистки, когда рост микроорганизмов не зависит от концентрации субстрата, так его величина превышает его лимитирующее значение. Модели первого и более высоких порядков могут быть использованы для очистки многокомпонентного субстрата и когда скорость роста клеток активного ила снижается по мере снижения концентрации субстрата, т.е. при проведении более глубокой очистки. В этом плане представляет интерес предложенная и реализованная модель [3, 6, 7], в которой при описании скорости роста микроорганизмов учтен эффект их взаимовлияния и ингибирования

$$\frac{dX}{dt} = \varepsilon X - \beta X^2; \quad (2)$$

$$\frac{dL}{dt} = -\frac{dX}{dt} \cdot \frac{1}{Y}. \quad (3)$$

Здесь влияние различных ингибирующих факторов учитывается коэффициентом  $\beta$ , а коэффициент  $\varepsilon$  определяет максимальную удельную скорость роста микроорганизмов при отсутствии ингибирующих факторов в начальной фазе роста. Решение системы (2), (3) имеет вид:

$$X = \frac{\varepsilon X_0}{\varepsilon \cdot \exp(-\varepsilon t) + \beta X_0 (1 - \exp(-\varepsilon t))}; \quad (4)$$

$$L_1 = L_0 - (X - X_0)Y,$$

где  $L_0$  и  $X_0$  – начальные концентрации соответственно субстрата (по БПК, г/л) и микроорганизмов (г/л). Эта модель апробирована на различных системах биологической очистки.

В условиях многокомпонентного состава загрязнений для описания результирующего процесса утилизации субстрата активным илом используют зависимости потребления отдельных компонентов  $L_i$ .

В общем случае процесс нитрификации зависит от следующих факторов: начальной и конечной величины БПК<sub>полн</sub>, начальной концентрации органического и аммонийного азота, наличия токсичных веществ для нитрификации, концентрации бикарбонат – иона, величины pH и Eh, температуры среды, щелочности воды, концентрации растворенного кислорода, количества нитрифицирующих микроорганизмов, соотношения автотрофных и гетеротрофных организмов в активном иле. Скорость процесса денитрификации зависит от тех же факторов (за исключением концентрации бикарбонат-иона), а также начальной и конечной концентрации нитритов и нитратов, количества денитрифицирующих бактерий, вида органического вещества, применяемого в качестве источника органического кислорода. Процесс удаления азота зачастую приходится рассматривать на фоне их очистки также от органических веществ, что является сложной задачей, решение которой зависит от многих факторов и отличается от очистки сточных вод не содержащих органических соединений. Между тем в [1] при изучении процессов нитрификации влияние органических загрязнений зачастую не учитывалось, процессы нитрификации рассматривались преимущественно на основе кинетических моделей, а процессы денитрификации рассматривались преимущественно на основе кинетической модели [1, 8]:

$$\frac{dN_1}{dt} = -\frac{\mu_{m1}}{Y_1} X_{N1} \frac{N_1}{K_{N1} + N_1}; \quad (5)$$

$$\frac{dX_{N1}}{dt} = -Y_1 \frac{dN_1}{dt} - b_1 X_{N1}; \quad (6)$$

$$\frac{1}{\theta} = \mu_{m1} \frac{N_1}{K_{N1} + N_1} \cdot \frac{C}{K_{CN} + C}, \quad (7)$$

где  $\frac{dN_1}{dt}$  – скорость снижения концентрации вещества;  $\frac{dX_{N1}}{dt}$  – скорость роста микроорганизмов;  $b_i$  – удельная скорость лизиса биомассы;  $Y_1$  – экономический (удельный) коэффициент выхода биомассы;

$\mu_{m1}$  – максимальная скорость роста нитрификаторов;  $X_{N1}$  – концентрация массы нитрификаторов;  $N_1$  – концентрация аммонийного азота;  $C$  – концентрация растворенного кислорода;  $K_{CN}$  – константа полунасыщения по аммонийному азоту;  $\theta$  – возраст активного ила.

Таким образом, при изучении процессов нитри-денитрификации не учитывалось ингибирующее влияние различных факторов, что неизбежно в условиях комплексной очистки.

Дальнейшее усовершенствование и применение моделей биологической очистки сточных вод должно идти по пути комплексного и одновременного учета основных факторов и особенностей процессов при очистке небольших количеств сточных вод и разработки на базе этих моделей научно-обоснованных рациональных конструкций.

- 1.Яковлев С.В., Кирюхина Т.А. Биологические процессы в очистке сточных вод. – М.: Стройиздат, 1985. – 200 с.
- 2.Яковлев С.В., Скирдов И.В. и др. Биологическая очистка производственных сточных вод. – М.: Стройиздат, 1985. – 208 с.
- 3.Кафаров В.В., Винарев А.Ю., Гордеев Л.С. Моделирование биохимических реакторов. – М.: Лесная промышленность, 1979. – 344 с.
- 4.Лаврик В.И., Гвоздяк П.И. и др. Математическое моделирование оптимизации параметров биореактора при очистке сточных вод // Химия и технология воды – 2000. – Т.22, №1 – С.104-110.
- 5.Вавилин В.А., Васильев В.В. Математическое моделирование процессов биологической очистки сточных вод активным илом. – М.: Наука, 1979. – 119 с.
- 6.Кафаров В.В., Винарев А.Ю., Гордеев Л.С. Моделирование и системный анализ биохимических производств. – М.: Лесная промышленность, 1985. – 280 с.
- 7.Цыганков С.П., Смирнов О.П., Коваленко В.А. Кинетика биохимической очистки сточных вод // Химия и технология воды. – 1983. – Т.5, №6. – С.546-550.
- 8.Мишуков Б.Г. Схемы биологической очистки сточных вод от азота и фосфора. – СПб.: СПбГАСУ, 1995. – 34 с.

Получено 12.01.2010

УДК 628.15

И.В.КОРИНЬКО, д-р техн. наук, А.Н.КОВАЛЕНКО, канд. техн. наук  
Коммунальное предприятие канализационного хозяйства  
«Харьковкоммуночиствод»

## ОСОБЕННОСТИ РЕМОНТА И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОВРЕЖДЕННЫХ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ СЕТЕЙ

Рассматриваются особенности проведения аварийных и ремонтно-восстановительных работ на канализационных сетях с применением различных машин и механизмов.

Розглядаються особливості проведення аварійних і ремонтно-відновлювальних робіт на каналізаційних мережах із застосуванням різних машин і механізмів.