

(технически достижимые)  $q_n$  и потенциально устранимые  $q_u$ . Отношение между  $q_n$  и  $q_u$  даёт показатель потерь инфраструктуры (ILI – *Index of Loss Infrastructure*). Он означает, «насколько эффективно в рамках существующей инфраструктуры при текущем рабочем давлении выполняются ремонты (их скорость и качество), контроль за утечками, управление инфраструктурой – модернизация и реконструкция сети».

Появление новых утечек и потерь воды во многом зависит от выверенного управления: обновлением трубопроводов, давлением в распределительной сети и др. В частности, снижение избыточных напоров на 10 м позволяет снизить нерациональное использование воды в зоне водоснабжения до 15 %.

Приближение показателя ILI  $\rightarrow 1$  составляет почти идеальное в технико-экономическом плане управление. Как единение его главных функций: планирования, организации, регулирования, контроля, учёта, анализа и мониторинга.

К общим мероприятиям в стратегии снижения потерь относятся:

– оптимизация режимов работы системы ПРВ, водный аудит, техническая диагностика трубопроводов, улучшение учёта воды, модернизация и реконструкция водопроводной сети с внедрением электрозащиты;

– автоматизация процессов, инновационные технологии, географо-информа-

ционные моделирующие системы-технологии (ГИМС) и др.

Системно-технические изменения в коммунальном хозяйстве и одновременное повышение экологической безопасности взаимосвязанных комплексов централизованного водоснабжения и водоотведения неизбежны.

### ЛИТЕРАТУРА:

1. Исаев В.Н. К вопросу об управлении системами водоснабжения // Сантехника. – 2004. – № 3. – С. 2-5.
2. Тенденції, закономірності та технології використання водних ресурсів (2008–2011 рр.): бібліогр. покажчик / Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Х. : ХНАМГ, 2011. – 86 с.
3. Moel P.J., Verberk J.Q., Van Dijk J.C. Drinking water: principles and practices. – Singapore: World Scientific, 2006. – 416 p.
4. Національна доповідь про якість питної води та стан питного водопостачання в Україні у 2010 році. – К.: МЖКГ України, 2011. – 564 с.
5. Василенко С.Л. Золотая пропорция водоснабжения городов // Коммунальное хозяйство міст. – 2013. – № 109. – С. 74-81.
6. Методика оценки неучтённых расходов и потерь воды в системе коммунального водоснабжения / Минпромэнергетика РФ. – 20.12.2004, № 172.
7. Храменков С.В., Примин О.Г. Проблемы и пути снижения потерь воды // Водоснабжение и санитарная техника. – 2012. – № 11. – С. 31-37.
8. Farley M., Trow S. Losses in water distribution networks: a practitioner's guide to assessment, monitoring and control. – London: IWA Publishing, 2007 (2003). – 282 p.

УДК 628.35

**Олійник О. Я.**

*Інститут гідромеханіки НАН України, м. Київ*

**Айрапетян Т.С.**

*Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова*

### АНАЛІЗ МОДЕЛЕЙ БІОЛОГІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД В АЕРОТЕНКАХ

Пошуки економічно вигідних і екологічно прийнятних методів очищення про-

мислових та господарсько-побутових стічних вод були і залишаються вкрай актуальними у великих містах.

Для очисних споруд, на яких біологічне очищення стічних вод здійснюється за традиційною схемою аеротенк – вторинний відстійник, дотепер важливим практичним завданням залишається питання оптимізації умов проведення технологічного процесу очищення для зниження концентрації забруднень в очищеній воді. У цьому зв'язку актуальними є дослідження для одержання математичного опису процесів біологічного очищення.

Режим роботи аеротенка може бути описаний за допомогою системи рівнянь, що наводять закономірність зміни концентрації основних компонентів процесу біологічного очищення, тобто математичною моделлю. Математична модель процесу біологічного очищення стоків є системою балансових рівнянь за концентрацією органічних забруднень, активного мулу та розчиненого кисню.

Відомі математичні моделі процесів анаеробного очищення базуються на взаємозв'язку зміни концентрації субстрату – забруднень у стічній воді та концентрації біомаси активного мулу [1-7]. Залежність між цими величинами встановлюється введенням питомої швидкості росту мікроорганізмів.

Математичне моделювання дозволяє отримати рівняння для описання експериментальної динаміки росту мікроорганізмів і споживання субстрату та розрахувати оптимальні режими процесу біологічного очищення стічних вод. При описанні динаміки росту мікроорганізмів і споживання субстрату, зазвичай виділяють окремі стадії: лаг-фазу, перехідну фазу, фазу прискореного росту, фазу сповільненого росту, стаціонарну фазу, фазу відмирання [1, 8-11].

Відомо, що у широкому діапазоні умов культивування швидкість росту мікроорганізмів пропорціональна їх біомасі. При цьому значення питомої швидкості росту можна вважати постійним тільки в фазі прискореного росту, в загальному випадку воно залежить від концентрації лімітуючого субстрату.

Математична модель біохімічного окиснення забруднень повинна бути допо-

внена емпіричними залежностями, які характеризують гідродинамічний режим в аеротенках. Облік гідродинаміки та швидкостей біохімічного окислення в аеротенку дозволяє більш раціонально здійснити аерацію, максимально використати об'єм аеротенка на його початку та уникнути надлишкових витрат енергії на кінцевій стадії процесу.

Модель Моно дозволяє представити процес росту мікроорганізмів нескладною залежністю, що є причиною найбільш частого застосування цієї моделі у теорії і практиці культивування мікроорганізмів.

З метою більш точного описання динаміки росту бактерій були запропоновані різні модифікації моделі Моно.

На даний час є більш 30 різних математичних співвідношень, які описують основні кінетичні закономірності процесу росту мікроорганізмів

В процесах з активним мулом субстратом, що служить поживою для бактерій, є стічні води. Оскільки стічні води містять силу різних органічних речовин, то слід сподіватися, що і активний мул, що зростає на такому субстраті, матиме складний багатовидовий склад. Отже специфіка процесу біологічного очищення полягає у тому, що це процес споживання багатокомпонентного субстрату (суміші органічних субстратів) гетерогенною популяцією мікроорганізмів.

В більшості випадків практично неможливо визначити концентрації органічних речовин, що містяться в стічній воді по окремоті, також як і концентрації окремих видів мікроорганізмів активного мулу. Тому, при вивченні процесів біологічної очистки у першу чергу необхідно знати зміни загальної концентрації забруднювача і загальної концентрації мулу.

У загальній біомасі виділяють мікроорганізми двох видів: гетеротрофні і автотрофні з відповідними концентраціями.

Результати вивчення процесу споживання суміші органічних субстратів гетерогенною мікробною популяцією свідчать о можливості як послідовного, так і паралельного їх протікання.

Значний вплив на процеси біоокислення може оказати взаємодія між мікроорганізмами, що надзвичай ускладнює як експериментальне вивчення, так і моделювання процесу споживання забруднень активним мулом. Однак рядом дослідників було показано, що для описання динаміки зміни сумарної концентрації біомаси мулу і сумарної концентрації забруднень цілком придатні моделі росту чистих культур, причому найкращу відповідність з експериментальними даними дає модель Моно.

Константи моделі типа Моно залежать від зовнішніх фізико-хімічних умов, і перш за все температури.

У практиці проектування споруд біологічної очистки широко поширений метод розрахунку, оснований на так званій двохфазній моделі росту активного мулу. У фазі I поживні речовини, необхідні для розвитку мулу, присутні у надлишку, при цьому питома швидкість росту постійна, в фазі II концентрація субстратів є лімітуючою і питома швидкість росту лінійно залежить від неї.

Моделі типа Моно, також як і двохфазна модель, носять формальний характер і враховують самі загальні явища, такі, як рост і відмирання мікроорганізмів. Насичення швидкості росту по субстрату, інгібування високої концентрації субстрату і т.п. У зв'язку з цим сфера застосування таких моделей обмежується дуже приблизним розрахунком періодів аерації. Для вирішення більш складних задач управління і оптимізації процесів з активним мулом необхідно розвивати моделі, які б повніше враховували специфіку цих процесів. Так, наприклад, при розрахунку оптимального співвідношення об'ємів між аеротенком і вторинним відстійником модель повинна передбачати процес осідання і ущільнення мулової суміші.

Для того, щоб ефективно управляти очисною системою, необхідно мати модель, в якій би враховувалася зміна характеристик мулу (активність, седиментаційні властивості) при впливі зовнішніх і правлячих факторів (температури, витрати

стічних вод, вхідної концентрації забруднень, режимів перемішування, концентрації кисню, тощо).

Особливий інтерес являє формування біоценозу активного мулу, оскільки саме від його видового складу залежать такі характеристики мулу, як активність і здатність до відстоювання.

При побудові моделі процесу біологічної очистки слід враховувати багатокомпонентність складу стічних вод, що є одним з основних факторів, які визначають структуру біоценоза.

Таким чином, до числа факторів, які повинні враховуватися при розробці детальних моделей росту активного мулу, можна віднести наступні:

- багатоконпонентність складу стічних вод і багатовидовий склад активного мулу;
- взаємодія між різними видами мікроорганізмів;
- можливість паралельного і поступового вилучення активним мулом компонентів полі субстрату;
- залежність властивостей активного мулу від умов проведення процесу очищення;
- механізми утворення і розпаду пластівців активного мулу;
- адсорбція і абсорбція субстратів пластівцями активного мулу.

В процесі біологічного окислення беруть участь різні групи мікроорганізмів, а отже, можна виділити лімітуючу фазу, яка визначатиме кінетику всього процесу. Залежно від умов ведення, якостей стічної води, гідродинамічного та теплового режимів лімітуючою фазою може виступати будь-яка фаза. Цим можна пояснити існування широкого діапазону моделей кінетики росту біомаси.

За способом побудови рівняння поділені на моно- та багатосубстратні. Моно-субстратні моделі враховують вплив одного лімітуючого або стимулюючого субстрату та продуктів метаболізму. До них належать моделі Кобозева, Блекмана, Перта, Ендрюса, Хіншельвуда, Моно, Мозера, Халдейна, Ієрусалимського, Бергтера та інших дослідників. Багатосубстратні

моделі питомої швидкості росту біомаси служать для характеристики впливу кожного з наявних субстратів.

Для описання процесу біологічної очистки стічних вод необхідно враховувати умови, за яких відбуваються різні хімічні реакції, а також умови, що визначають послідовність цих реакцій та їх швидкість.

Моделі, що найбільш точно описують процес біологічної очистки, є багатопараметричними. Більшість методів параметричної ідентифікації потребує великої кількості експериментальних даних, яка не завжди є доступною. Таким чином, вибір або розробка методу параметричної ідентифікації і його застосування є важливою задачею.

Існуючі на сьогодні математичні моделі процесів біологічного очищення в аеротенках є надзвичайно складними в використанні, інші моделі, які, застосовуються в Україні, не охоплюють процеси окислення амонійного азоту.

Тому, на сьогодні актуальною є розробка математичної моделі процесу біологічного очищення стічних вод в аеротенках, яка може бути застосована при визначенні шляхів реконструкції та для оптимізації і автоматизації роботи каналізаційних очисних споруд, що побудована на сучасних уявленнях про кінетику біохімічних реакцій з урахуванням особливостей практики експлуатації каналізаційних очисних споруд в нашій країні.

**ЛІТЕРАТУРА:**

1. Вавилин В. А. Математическое моделирование процессов биологической очистки сточных вод активным илом / В. А. Вавилин, В. Б. Васильев.— М. : Наука, 1979.— 119 с.
2. Василенко О. А., Епоян С. М., Смірнова Г. М., Корінько І. В., Василенко Л. О., Айра-

- петян Т. С. Водовідведення та очистка стічних вод міста. Курсове і дипломне проектування. Приклади та розрахунки: Навчальний посібник. – Київ–Харків, КНУБА, ХНУБА, 2012. – 572 с.
3. Жмур Н. С. Управление процессом и контроль результата очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками / Н. С.Жмур.— М.: Луч, 1997.— 172 с.
4. Яковлев С. В., Воронов Ю. В. Водоотведение и очистка сточных вод / Учебник для вузов. / С. В. Яковлев, Ю. В. Воронов ; под общ. ред. Ю. В. Воронова. – 3-е изд., доп. и перераб. – М.: АСВ, 2004. – 704 с.
5. Смирнов, Н. В. Математическое моделирование процесса биологической очистки сточных вод / Н. В. Смирнов // Ярославский педагогический вестник. Сер. «Естественные науки». – 2012.— Т. 3, № 3. – С. 44–49.
6. Поберейко Б.П., Гнатишин Я.М., Соколовський Я.І. та ін. Визначення та аналіз динаміки анаеробного процесу залежно від параметрів умов протікання // Праці міжнар. енергоекологічного конгресу: “Енергетика. Екологія. Людина”, 27—28 березня 2003 р. – К., 2003. – С. 155–158.
7. Roš M., Zupančič G.D. Thermophilic anaerobic digestion of waste activated sludge // Acta Chim. Sloveno. – 2003. – P. 359–374.
8. Гудков, А. Г. Биологическая очистка городских сточных вод: Уч. пособие / А. Г. Гудков.— Вологда : Наука, 1993.— 208 с.
9. Очистка сточных вод / М. Хенце, П. Армоз, Й. Ля-Кур-Янсен, Э. Арван.— М. : Мир, 2004. — 480 с.
10. Яковлев С. В., Воронов Ю. В. Водоотведение и очистка сточных вод / Учебник для вузов. / С. В. Яковлев, Ю. В. Воронов ; под общ. ред. Ю. В. Воронова. – 3-е изд., доп. и перераб. – М.: АСВ, 2004. – 704 с.
11. Яковлев, С. В. Биохимические процессы в очистке сточных вод / С. В. Яковлев, Т. А. Карюхина.— М. : Стройиздат, 1980. — 200 с.