
**Модель биологической очистки
с переменной структурой биомассы**

Кириллов А. Н.

СПбГТУРП, ул. акад. Павлова, Санкт-Петербург, 197022, Россия
e-mail: krl1valeksandr@rambler.ru

В проблеме охраны окружающей среды важную роль играет задача стабилизации процесса очистки сточных вод от промышленных сбросов. Сложность процесса очистки связана с различными аспектами биологического, физико-химического, технологического характера. Сточные воды, представляющие собой многокомпонентный субстрат-загрязнитель, в совокупности с активным илом, состоящим из многочисленных групп микроорганизмов, являются сложной иерархической системой. Цель данной работы — получение более глубокого взгляда на возможное повышение эффективности управления процессом биоочистки. Рассмотрена система, состоящая из аэротенка, отстойника и звена рециркуляции.

В [1] исследовались вопросы, связанные с изменчивостью состава активного ила в процессе биоочистки: при небольшом времени оборота биомассы в микрофлоре активного ила преобладают быстрорастущие виды, приспособленные к потреблению легкоокисляемых соединений. При этом медленно растущие группы, специализирующиеся на потреблении трудноусвояемых соединений, вытесняются из реактора, в результате чего эти соединения попадают в стоки, не разлагаясь. Наоборот, если время оборота биомассы достаточно велико, в очистной системе закрепляются медленно растущие группы. При этом увеличивается разнообразие закрепившихся видов биомассы и идет процесс глубокой очистки. Существующие динамические модели не отражают указанные закономерности, а поскольку при стабилизации процесса биоочистки изменяется скорость оборота биомассы, то возникает проблема построения модели, учитывающей непостоянство видового состава сообщества микроорганизмов активного ила. Данная проблема решена на основе предложенного автором принципа динамической декомпозиции. Суть этого принципа состоит в возможности изменения размерности системы в процессе ее функционирования. Этот подход позволяет рассматривать последовательность относительно простых моделей сообщества микроорганизмов, сменяющих друг друга в зависимости от условий протекания процесса биоочистки. Так, в случае когда каждый вид микроорганизмов окисляет определенный компонент загрязнителя, динамика процесса очистки задается уравнениями вида

$$\begin{aligned}\dot{x}_i &= ua_{1i} + \frac{\mu_i s_i x_i}{k_i + s_i} - (b + u)x_i, \\ \dot{s}_i &= ba_{2i} - \frac{\mu_i s_i x_i}{Y_i(k_i + s_i)} - (b + u)s_i, \quad i = 1, \dots, n(t),\end{aligned}$$

где для i -го вида микроорганизмов и i -го компонента субстратов введены следующие обозначения: s_i — концентрация загрязнений на выходе; x_i — концентрация микроорганизмов; Y_i — коэффициент утилизации субстрата-загрязнителя в биомассу; k_i — константа полунасыщения; b, a_{2i} — скорость и концентрация, соответственно, субстрата на входе; u, a_{1i} — скорость биомассы и концентрация микроорганизмов, соответственно, в возвратном потоке; μ_i — максимальная удельная скорость роста микроорганизмов. Все введенные величины положительны. Управление осуществляется за счет изменения скорости u рециркулирующего потока.

Особенность данной системы — в ее переменной размерности $n(t)$, что позволяет учесть влияние времени пребывания биомассы в аэротенке на ее состав. Будем полагать

$$n = N - k \quad u_k < u < u_{k+1},$$

где $k+1 = i$ — номер компонента субстрата и окисляющей его группы микроорганизмов, u_k — заданные пороговые значения величины u , $k = 0, 1, \dots, N-1$, N — заданная целая положительная постоянная, определяемая технологией процесса управления. Исследуется устойчивость структуры построенной модели и возможность ее стабилизации. Структурой системы называется вектор γ с компонентами γ_i , где $\gamma_i = 1$, если i -й вид микроорганизмов входит в состав биомассы, иначе $\gamma_i = 0$. Структура биомассы становится переменной вследствие изменения скорости рециркулирующего потока.

Результаты моделирования позволяют оптимизировать процесс управления биологической очисткой сточных вод.

Литература

Вавилин В. А. *Время оборота и деструкция органического вещества в системах биологической очистки*, Наука, 1986.