

УДК 614.8

Андронов В.А., д-р техн. наук, проф., Созник А.П., д-р физ.-мат. наук, проф., Горносталь С.А. (Университет гражданской защиты Украины, г. Харьков)

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПРОЦЕССОВ, ПРОИСХОДЯЩИХ В ИДЕАЛЬНЫХ И РЕАЛЬНЫХ АЭРОТЕНКАХ

На основе обобщения моделей биологической очистки в аэротенках идеального типа предпринята попытка описать явления очистки в реальных сооружениях. Показано, что такие модели не пригодны для этих целей и требуется развитие новых подходов, использование которых позволило бы указать пути повышения качества очистки, что в свою очередь может улучшить экологическое состояние открытых водоемов.

On the basis of the generalized models of biological cleaning in ideal airtank for disribing the cleaning phenomena in the real constructions is undertaken. It was shown that such models are not applicable for this purpose and developments of new approaches the which use would open the ways to improve the cleaning are required, that in the turn can raise the ecological state of the opened reservoirs.

Проблеме возникновения чрезвычайных экологических ситуаций, связанных с нарушением технологических процессов сбора, передачи и очистки сточных вод в настоящее время уделяется повышенное внимание [1]. Несмотря на довольно жесткие требования [2], предъявляемые к качеству вод, сбрасываемых после очистки в водоем, а также на значительное сокращение объемов промышленного производства, за прошедшее десятилетие не произошло заметного улучшения качества воды в водоемах. В частности, по оценкам министерства здравоохранения до 75 % вспышек инфекционных заболеваний и увеличение их количества за последние 5 лет связано с использованием воды для хозяйственно-питьевых целей из загрязненных поверхностных источников.

Традиционные технологии биологической очистки сточных вод имеют ряд недостатков, и для крупных очистных сооружений до сих пор важной практической задачей остается вопрос соблюдения норматива предельно допустимых сбросов (ПДС) по органическим веществам, значение которого все время ужесточается. Радикальное улучшение характеристик сооружений

очистки возможно либо путем применения принципиально новых технологических решений, либо путем повышения потенциала очистки действующих сооружений. В современных условиях, учитывая масштабы сооружений очистки, наиболее перспективным является путь улучшения качества очистки. Для этого необходимо иметь адекватные математические модели, которые позволили бы описать процессы, происходящие в действующих аэротенках. Анализ таких моделей может дать возможность определить оптимальные для соблюдения ПДС параметры подачи сточных вод, активного ила и воздуха.

Созданию математических моделей процессов, происходящих в сооружениях биологической очистки, посвящено много публикаций (см. [3-7] и ссылки там же). В частности, в [4, 5] детально проанализированы известные модели типа Моно, Герберта, Иерусалимского, Кенейла, Гюнтер – Запрудского и других авторов. Показано, что указанные модели в той или иной мере удовлетворительно описывают явления очистки в различных аэротенках идеального типа.

На комплексе биологической очистки «Диканевский» (КБОД) подача сточных вод осуществляется рассредоточено по всей длине второго коридора через четыре подающих окна, с возможностью регулирования их подачи с помощью шиберных заслонок (рис.1), а активный ил подается в первый коридор аэротенка на регенерацию. Такую конструкцию нельзя отнести ни к одному из типов аэротенков, рассмотренных в [4-7]. Поэтому возникает вопрос о применимости известных моделей для описания процессов в действующем аэротенке, который и рассматривается в данной работе.

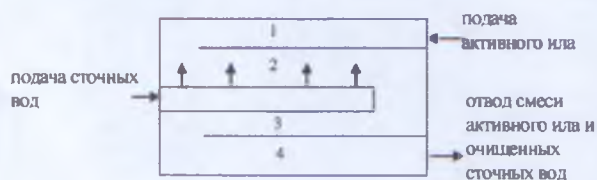


Рис.1 – Схема секции четырехкоридорного аэротенка – смесителя:

1 – регенератор (первый коридор), 2 – второй коридор, 3 – третий коридор, 4 – четвертый коридор аэротенка

Нами [8] был проведен анализ указанных моделей, а для описания процессов в системе аэротенк – вторичный отстойник предложена [9] физическая модель, согласно которой весь процесс можно разделить на четыре фазы. Первая фаза соответствует первому коридору аэротенка – регенератору. При расчетах второй фазы (второй коридор аэротенка)

необходимо учитывать, что кроме подачи активного ила и его интенсивной аэрации, происходит подача сточных вод рассредоточено по длине коридора в четырех точках. Третья фаза соответствует третьему и четвертому коридорам аэротенка, а четвертая – вторичному отстойнику. Отметим, что в реальном аэротенке интенсивность подачи воздуха в первой и второй фазах одинакова и приблизительно в два раза больше, чем в третьей фазе. В [10] для описания процессов в 1-3 фазах нами была предложена следующая модель типа Моно – Герберта, в которой учтен процесс интенсивной аэрации и наличие продуктов автолиза [6]:

$$\frac{dX}{dt} = \frac{\mu L}{K_L + L} X + k_2 G X Z - \beta X + k_4 S X - k_1 G^m X, \quad (1)$$

$$\frac{dZ}{dt} = k_1 G^m X - k_2 G X Z + \frac{\mu L}{K_L + L} Z - \lambda Z + k_4 S Z, \quad (2)$$

$$\frac{dS}{dt} = (k_3 - k_4 S)(X + Z), \quad (3)$$

$$\frac{dL}{dt} = -\frac{1}{Y} \frac{\mu}{K_L + L} (X + Z) L, \quad (4)$$

где X , Z , S , L - концентрации, соответственно, хлопьев, дисперсных бактерий, продуктов автолиза и загрязнений (субстрата); μ - максимальная удельная скорость роста хлопьев; K_L - константа полунасыщения, k_2 - константа скорости агрегации хлопьев; G - градиент скорости в турбулентном потоке при подаче воздуха; β - удельная скорость убывания хлопьев; k_4 - константа скорости окисления продуктов автолиза, k_1 - скорость эрозии хлопьев, m - константа, λ - скорость убывания дисперсных бактерий; k_3 - константа скорости образования продуктов автолиза, Y - коэффициент трансформации.

В (1) первое слагаемое справа соответствует стандартной модели Моно [3] и учитывает рост хлопьев, обусловленный потреблением субстрата. Второе слагаемое описывает увеличение концентрации хлопьев за счет процесса агрегации дисперсных бактерий в хлопья [4-5]. Третье слагаемое учитывает убывание хлопьев за счет их отмирания и хищнического уничтожения. Четвертое слагаемое учитывает увеличение концентрации хлопьев за счет потребления продуктов автолиза, а пятое - распад хлопьев за счет эрозии, вследствие чего образуются дисперсные бактерии [4-5]. В уравнении (2) первые два слагаемые взяты из работ [4-5], а последние три,

введенные нами, учитывают уменьшение концентрации дисперсных бактерий за счет их убывания и увеличение их концентрации за счет потребления продуктов автолиза и субстрата. В уравнении (3) нами, в отличие от [6], учтено, что автолиз является результатом деятельности хлопьев и дисперсных бактерий; уравнение (4) соответствует работе [4].

Система уравнений (1) - (4) содержит одиннадцать параметров, каждый из которых имеет определенный физический смысл и численное значение. В работах [4-7] на основе анализа экспериментальных исследований приведены значения для большинства из этих параметров, которые и были использованы в наших расчетах. Решение системы уравнений (1)-(4) находилось нами для каждой фазы отдельно, а фаза 2 с учетом распределенной подачи сточных вод разбивалась дополнительно на четыре подфазы. Значения, полученные в результате численного решения системы уравнений для первой фазы, являются начальными условиями для второй фазы очистки - во втором коридоре аэротенка. Соответственно, результаты, полученные при решении системы уравнений для второй фазы, являются начальными условиями для третьей фазы очистки. Результаты расчетов приведены на рис. 2-4.

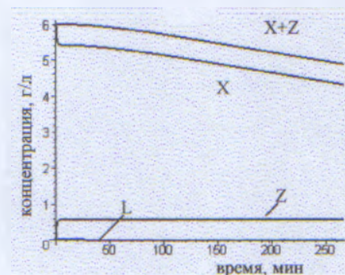


Рис.2 – Изменение концентраций в первой фазе (регенераторе)

Расчеты были выполнены при условиях, которые соответствуют сооружениям на комплексе биологической очистки «Диканевский». Расход активного ила, подаваемого в регенератор, $q_w = 25,2 \text{ м}^3/\text{мин}$, доза ила $a_w = 6 \text{ г/л}$, $L_i = 0,015 \text{ г/л}$, $Z_i = 0$, расход сточных вод $q_{св} = 45,13 \text{ м}^3/\text{мин}$ с концентрацией загрязнений $L_{св} = 0,15 \text{ г/л}$. С учетом разной интенсивности подачи воздуха в фазах 1, 2 и фазе 3 нами были приняты соответствующие значения параметров $G = G_{1,2} = 1,6 \cdot 10^4 \text{ мин}^{-1}$ и $G = G_3 = 1,6 \cdot 10^3 \text{ мин}^{-1}$.

Из рис.2 видно, что в первой фазе (в регенераторе) происходит снижение концентрации хлопьев и загрязнений, увеличение концентрации дисперсных бактерий. На выходе из регенератора получаем значения $X = 4,6 \text{ г/л}$, $Z = 0,6 \text{ г/л}$, $L \approx 0,2 \text{ г/л}$, причем значение X близко к измеряемым величинам.

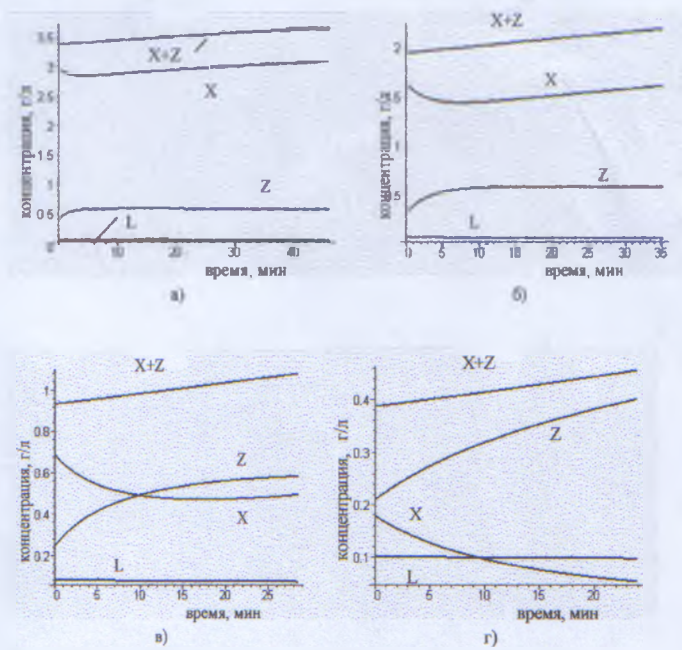


Рис.3 – Изменение концентраций во второй фазе:
а), б), в), г) зависимости от времени концентраций при 1-м, 2-м, 3-м и 4-м впусках сточных вод соответственно

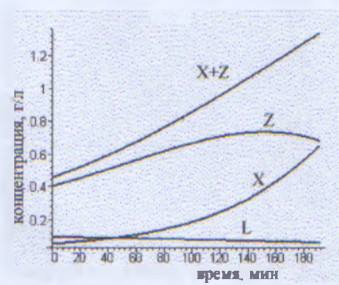


Рис.4 – Изменение концентраций в третьей фазе

На выходе из второй фазы очистки было получено (рис.3), что концентрация хлопьев снижается практически до нуля, а концентрация дисперсных бактерий возрастает до $Z = 0,36 \text{ г/л}$. Интересно отметить, что после каждого впуска сточных вод концентрация дисперсных бактерий

увеличивается, а концентрация хлопьев сначала возрастает (рис.3а, б), а потом убывает (рис.3в, г).

На выходе из третьей фазы (рис.4) получаем практически одинаковые значения концентраций хлопьев и дисперсных бактерий $X = Z = 0,6 \text{ г/л}$, $L = 0,08 \text{ г/л}$. Указанные значения концентраций X , Z , и L на выходе из аэротенка существенно отличаются от экспериментально измеренных значений: $X_3 = 3-4 \text{ г/л}$, $Z_3 \geq 0 \text{ г/л}$, $L_3 \approx 0,015 \text{ г/л}$. Нами были предприняты попытки улучшить согласие результатов расчетов с экспериментальными значениями X и L путем введения вместо одного параметра μ двух μ_X и μ_Z в формулах (1), (2) и (3), а также путем варьирования параметров $G_{1,2}$ и G_3 , значения которых согласно [4] могут изменяться в определенных пределах. Однако к успеху эти попытки не привели.

Результаты проведенных нами расчетов (рис.3в, г и рис.4) показывают, что модель (1)-(4), основой которой является модель Моно – Герберта, может более-менее удовлетворительно описать только процессы, происходящие в регенераторе. Это свидетельствует о том, что модели, описывающие идеальные аэротенки, нельзя непосредственно распространять на процесс очистки в реальных аэротенках. Таким образом, актуальной остается задача создания математической модели, пригодной для описания действующих сооружений биологической очистки.

1. Крюковська О.А., Толоч А.О., Юдіна С.А. Стан техногенної безпеки на Україні. – Зб. тез міжнар. наук.-практ. конф. – Л.: ЛДУ БЖД, 2008. – С. 46-49. 2. “Охрана поверхностных вод от загрязнения” СанПиН № 4630-88. М.: Стройиздат, 1988. – 119 с. 3. Monod J. La technique de culture continue theorie and applications. – Ann. Institut Pasteur, 1950. – 79 с. 4. Вавилин В.А., Васильев В.Б. Математическое моделирование процессов биологической очистки сточных вод активным илом. М.: Наука, 1979. – 119 с. 5. Вавилин В.А. Нелинейные модели биологической очистки и процессов самоочищения в реках. М.: Наука, 1983. – 158 с. 6. Олійник О.Я., Зябліков С.М. Особливості моделювання очистки стічних вод у системі аэротенк-відстійник-регенератор Зб.наук.пр. “Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки”. – Київ: - Вип. 4, 2005. — С. 46-53. 7. Большаков Н.Ю. Оценка эффективности системы аэротенк – вторичный отстойник методом математического моделирования. - Вестник молодых ученых, 2001, №7 – С. 58-67. 8. Горносталь С.А., Созник А.П. Анализ математической модели процессов, происходящих в регенераторе аэротенка. Пробл. назв. ситуацій. Зб. наук. пр. УЦЗУ. Вип.6. – Харків: УЦЗУ, 2008. – С.69-74. 9. Горносталь С.А., Созник А.П. Описание процессов, происходящих в системе аэротенк – вторичный отстойник, и их физическое моделирование. Наук.-техн. зб. Серія: Технічні науки та архітектура, вип.81. – Киев: Техніка, 2008. – С. 133-139. 10. Горносталь С.А., Созник А.П. Построение математической модели процессов, происходящих в регенераторе аэротенка. Пробл. назв. ситуацій. Зб. наук. пр. УЦЗУ. Вип.7.- Харків: УЦЗУ, 2008. – С.51-57.