

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА БИООЧИСТКИ ИЛАМИ РАЗНЫХ ВОЗРАСТОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ БИОДЕСТРУКЦИИ С УЧЕТОМ КОЭФФИЦИЕНТА НАГРУЗОК ПО ХПК

Ключевые слова: возраст активного ила, аэротенк, прирост активного ила, физиологическая активность, коэффициент неравномерности по ХПК, коэффициент нагрузки, биохимическое окисление, химсток, биологические очистные сооружения.

Показана зависимость эффективности биоочистки сточных вод химического предприятия от возраста активного ила в различных вариантах поступающего химзагрязненного стока по коэффициенту нагрузок, который, в свою очередь, определяется как произведение двух параметров: коэффициента неравномерности по ХПК и показателя превышения ХПК.

Keywords: age of activated sludge aeration tank, the activated sludge growth, physiological activity, irregularity factor COD, load factor, biochemical oxidation, himstok, biological treatment facilities.

The dependence of the effectiveness of bioremediation of waste water from a chemical plant of activated sludge in different versions coming chemically polluted. Photocoefficient loads, which, in turn, is defined as the product of two parameters: the coefficient of non-uniformity of COD and COD of the excess.

Введение

В производственных условиях эксплуатации биологических очистных сооружений (БОС) задачу определения оптимальных параметров ведения технологического процесса биоочистки, обеспечивающих максимальную физиологическую активность микроорганизмов и поддержание этих параметров, приходится решать в зависимости от состава стоков, соотношения ингредиентов и постоянства показателей во времени. Для обеспечения эффективной очистки производственных сточных вод (СВ), особенно СВ химического предприятия, отличающихся многообразием состава синтезированных и трудноокисляемых веществ, необходимо определять оптимальное значение возраста активного ила (АИ), от которого в решающей степени зависит физиологическая активность и биоокислительная его способность. К сожалению, в силу разнообразных объективных и субъективных причин, понятие «возраст АИ» не только не применяется в практике водоочистки, но и отсутствует в соответствующей регламентирующей нормативно-технической документации.

Кроме того, эффективность биодеструкции загрязняющих веществ (ЗВ) в аэротенках обуславливается двумя входными параметрами, характеризующими степень влияния на адаптированность ферментативной системы микроорганизмов:

1) разность концентраций ЗВ во времени (равномерность или усредненность нагрузок; оценивается в данной работе по комплексному показателю, характеризующему присутствие всех, в том числе, – трудноокисляемых поллютантов, – ХПК);

2) максимальная разовая концентрация ЗВ в поступающих сточных водах, – обычно сравнивается с нормой, установленной технологическим регламентом.

В практике эксплуатации очистных сооружений считается достаточной степень усреднения сточных вод в сооружениях механической очистки (песколовки, усреднители, первичные отстойники,

смесители) и неравномерность концентраций перед аэротенками не учитывается. В результате неполноценности входного и текущего мониторинга регулирования параметров технологического процесса биоочистки маловероятно и неэффективно.

В данной статье предложена зависимость, учитывающая указанные параметры.

Экспериментальная часть

Модельные исследования, проведенные автором совместно со специалистами лаборатории цеха биологических очистных сооружений ОАО «Казаньоргсинтез», осуществлялись на модельных аэротенках с активным илом (АИ) из промышленных аэротенков и химзагрязненными сточными водами разной во времени концентрации загрязняющих веществ (ЗВ), поступающих в цех на очистку.

Использовали модельные аэротенки объемом 1 дм³; нагрузка по стоку – 0,7 дм³; доза ила в аэрационной системе – 4 дм³; в отводимом иле – 6 дм³; концентрация взвеси в очищенной воде – 0,014 мг/дм³; концентрацию ЗВ в поступающей и очищенной воде определяли по ХПК (химическому потреблению кислорода) бихроматным методом.

В практике очистки сточных вод для определения возраста ила применяется наиболее распространенная формула:

$$B = (a_{cp} \cdot W) / [(Q - P) C_{вв} + P C_{изб}], \quad (1)$$

где B – возраст ила, сут; a_{cp} – средняя концентрация ила в аэротенке, г/дм³; W – объем аэрируемых сооружений, м³; Q – расход сточных вод, м³/сут; P – прирост (расход) избыточного ила, г/дм³; $C_{вв}$ – концентрация взвешенных веществ в очищенной воде, г/дм³; $C_{изб}$ – концентрация избыточного ила, г/дм³ [1].

Анализ уравнения (1) показывает, что реально изменяемой величиной в правой части уравнения является биотический параметр P – прирост ила, а все другие составляющие (абиотические параметры) предопределены проектом, технологическим регла-

ментном и можно их считать постоянными величинами.

Поэтому, все расчеты проведены при варьировании расходов (количества) отводимого избыточного ила P . Максимальное и минимальное значения P задавалось исходя из реальных количеств избыточного количества, которое должно отводиться в соответствии с технологическим режимом эксплуатации БОС – 1800 м³/сут и 10 м³/сут. В соответствии с формулой (1) находили разные значения B , например:

$$B_1 = \frac{4 \cdot (2520 \cdot 3 + 2520 \cdot 2 + 120 + 125)}{(9433 - 1800) \cdot 0,014 + 64800} = 4,7 \text{ сут}, \quad (2)$$

где 4 – средняя концентрация ила, г/дм³; (2520×3 + 2520×2 + 120 + 125) – объем аэрируемых сооружений (аэротенки, регенераторы, смесители), м³; 9433 – расход сточных вод на одной из очередей БОС, м³/сут; 1800 – расход избыточного ила (максимальный), м³/сут; 0,014 – содержание (регламентированное) взвешенных веществ в очищенной воде, г/дм³; 6 – концентрация отводимого избыточного ила, г/дм³.

Подставляя в формулу (1) различные расходы избыточного активного ила P в интервале от максимального до минимального (10 м³/сут) значений – 900, 500, 300, 100, 10 м³/сут получили следующие значения возрастов ила:

$$B_2 = 9,3 \text{ сут}; B_3 = 16,4 \text{ сут}; B_4 = 26,6 \text{ сут}; B_5 = 70,3 \text{ сут}; B_6 = 267 \text{ сут}.$$

Для проведения дальнейших исследований на модельных установках использован ил возрастов, соответствующих расчетным.

Для наращивания илов определенного возраста определили расход ила, исходя из уравнения (1):

$$P = [(a_{cp} \cdot W) - (B \cdot Q \cdot C_{вв})] / [B \cdot (C_{изб} - C_{вв})], \quad (3)$$

Расчетные данные по расходу ила представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Расход избыточного АИ для получения разновозрастных илов

Расход ила, дм ³	0,14	0,072	0,039	0,023	0,008	0,00087
Возраст ила, сут	4,7	9,3	16,4	26,6	70,3	267

Для оценки эффективности работы илов разных возрастов использовали поступающие на БОС-стоки с различной концентрацией загрязнений (с разными значениями ХПК), меняющимися неоднократно в течение суток (нестабильность сточных вод по концентрации и составу является типичной для предприятий химического и нефтехимического комплекса). В качестве диапазона времени, учитывающего изменение ХПК, выбрали время усреднения стоков в усреднителях цеха – 2 часа. Оценку нагрузок с учетом залповых аномальных сбросов и неравномерности поступлений по ХПК производили по предложенной эмпирической зависимости:

$$N_{хпк} = K_n \cdot K_{np}, \quad (4)$$

где $N_{хпк}$ – нагрузка на АИ, оценивается по комплексному показателю ХПК; K_n – коэффициент не-

равномерности нагрузок на АИ, определяется по уравнению:

$$K_n = (ХПК_{\max} - ХПК_{\min}) / ХПК_{\text{регл.}}, \quad (5)$$

где $ХПК_{\max}$ и $ХПК_{\min}$ – максимальное и минимальное разовое значение ХПК химзагрязненных сточных вод на входе в аэротенки (мгО₂/л); временной интервал между двумя повторными анализами соответствует минимальному времени нахождения сточных вод в сооружениях механической очистки, – в данном случае – 2 часа; $ХПК_{\text{регл.}}$ – максимальное нормированное ХПК, установленное технологическим регламентом (или опытным путем), – в описываемом исследовании – 1000 мгО₂/л.

Максимальное значение K_n является мерой нестабильности поступающего стока по концентрации загрязняющих веществ и характеризует значительные различия по ХПК – залповые аномальные сбросы. В проведенных опытах усредненные нагрузки – величины одного порядка, в то время как коэффициент неравномерности K_n позволяет зафиксировать изменение нагрузки.

K_{np} – коэффициент превышения максимального фактического значения $ХПК_{\text{ф}}$ над нормированным $ХПК_{\text{регл.}}$; определяется как отношение $ХПК_{\text{ф}}$ к $ХПК_{\text{регл.}}$ (в случае поступления ХПК больше регламентного $K_{np} > 1$; при $ХПК_{\text{ф}} < ХПК_{\text{регл.}}$, $K_{np} < 1$).

Результаты исследования и выводы

В таблице 2 представлены варианты нагрузок на ил $N_{хпк}$, рассчитанные в зависимости от K_n и K_{np} по формулам 4, 5 на основании различных значений ХПК перед аэротенками фактических производственных сточных вод предприятия.

Таблица 2 - Варианты $N_{хпк}$, K_n , K_{np} в проведенных экспериментах

ХПК, мгО ₂ /л		K_n	K_{np}	$N_{хпк}$
Max	Min			
920	350	0,57	0,92	0,524
1400	610	0,79	1,40	1,106
920	480	0,44	0,92	0,404
1500	900	0,60	1,50	0,90
1430	894	0,536	1,43	0,766
1360	876	0,484	1,36	0,658
1450	1009	0,441	1,45	0,639
1500	1095	0,405	1,50	0,607
1400	1023	0,377	1,40	0,527
1316	967	0,349	1,316	0,459
1100	790	0,31	1,10	0,341
1315	1032	0,283	1,315	0,372
1481	1223	0,258	1,481	0,382
760	600	0,160	0,760	0,121

Данные расчетов, представленные в табл.2, показывают, что нагрузка на АИ в большей степени зависит от коэффициента неравномерности (K_n) поступающих стоков, чем от максимально разового значения ХПК (K_{np}). Это объяснимо с точки зрения физиологической активности микроорганизмов – ферментативная система бактерий не успевает перестраиваться (адаптироваться) к резким изменениям

концентраций ЗВ. В данном конкретном случае времени усреднения химзагрязненных сточных вод в существующих регламентных усреднителях не достаточно и для уменьшения K_n необходимо или увеличить время пребывания в усреднителе за счет увеличения его объема или для выравнивания концентраций использовать другое сооружение.

В таблице 3 представлены данные исследований зависимости эффективности биодеструкции ЗВ от возраста активного ила

Таблица 3 - Соотношение эффективности биоокисления и возраста активного ила

Нагрузка на АИ, $N_{хлк}$ (из табл.2)	Возраст АИ, сутки (из табл. 1)					
	4,7	9,3	16,4	26,6	70,3	267
	ХПК, мгО ₂ /л очищенного стока/эффективность очистки, % (по данным лабораторных анализов)					
0,524	$\frac{150}{76}$	$\frac{120}{81}$	$\frac{116}{82}$	$\frac{98}{85}$	$\frac{98}{85}$	$\frac{86}{86}$
1,106	$\frac{185}{81}$	$\frac{162}{83}$	$\frac{110}{89}$	$\frac{92}{97}$	$\frac{92}{97}$	$\frac{92}{97}$
0,404	$\frac{120}{83}$	$\frac{106}{85}$	$\frac{98}{86}$	$\frac{98}{86}$	$\frac{132}{81}$	$\frac{146}{79}$
0,90	$\frac{165}{86}$	$\frac{141}{88}$	$\frac{132}{89}$	$\frac{112}{97}$	$\frac{112}{97}$	$\frac{126}{89}$
0,766	$\frac{141}{87}$	$\frac{132}{88}$	$\frac{132}{88}$	$\frac{112}{90}$	$\frac{112}{90}$	$\frac{126}{89}$
0,658	$\frac{121}{89}$	$\frac{121}{89}$	$\frac{116}{88}$	$\frac{92}{91}$	$\frac{92}{91}$	$\frac{111}{90}$
0,639	$\frac{125}{89}$	$\frac{125}{89}$	$\frac{125}{89}$	$\frac{110}{91}$	$\frac{110}{91}$	$\frac{122}{90}$
0,607	$\frac{112}{91}$	$\frac{112}{91}$	$\frac{98}{92}$	$\frac{98}{92}$	$\frac{112}{91}$	$\frac{112}{91}$
0,527	$\frac{134}{89}$	$\frac{120}{90}$	$\frac{110}{91}$	$\frac{92}{93}$	$\frac{110}{91}$	$\frac{110}{91}$
0,459	$\frac{92}{92}$	$\frac{92}{92}$	$\frac{92}{92}$	$\frac{116}{90}$	$\frac{122}{89}$	$\frac{122}{89}$
0,341	$\frac{105}{89}$	$\frac{105}{89}$	$\frac{116}{87}$	$\frac{116}{87}$	$\frac{128}{86}$	$\frac{128}{86}$
0,372	$\frac{92}{92}$	$\frac{92}{92}$	$\frac{110}{91}$	$\frac{125}{89}$	$\frac{125}{89}$	$\frac{125}{89}$
0,382	$\frac{86}{94}$	$\frac{86}{94}$	$\frac{92}{93}$	$\frac{132}{90}$	$\frac{132}{90}$	$\frac{132}{90}$
0,121	$\frac{92}{86}$	$\frac{92}{86}$	$\frac{98}{85}$	$\frac{110}{83}$	$\frac{110}{83}$	$\frac{136}{80}$

Эффективность очистки (знаменатель в табл. 3) определялась как отношение среднеарифметиче-

ского значения между максимальным и минимальным ХПК на входе в аэротенки (табл.2) к ХПК очищенной жидкости на выходе из аэротенка (числитель в табл.3).

Из таблицы видно, что эффективность биоокисления ЗВ химстока функционально зависит от возраста ила и от нагрузок на активный ил по ХПК ($N_{хлк}$).

Максимальная эффективность очистки наблюдается в опытах с илом, возраст которого в интервале 26,6-267 сут. При уменьшении $N_{хлк}$ диапазон оптимального возраста ила, обеспечивающего максимальную очистку, сдвигается в сторону уменьшения и составляет 4,7-26,6 сут. При минимальном $N_{хлк}$, т.е. при минимальных и стабильных нагрузках, эффективно применение ила возраста 4,7-9,3сут.

Полученные результаты объяснимы с точки зрения физиологии микроорганизмов. В старом иле присутствуют микроорганизмы разных физиологических групп, обуславливающих окисление легкодоступных и трудно окисляемых субстратов, что обеспечивает более полную биодеструкцию ЗВ. Поэтому при залповых аномальных сбросах целесообразно применение ила возраста 26,6 и более суток.

В молодом иле формируется сообщество быстрорастущих микроорганизмов с определенным типом метаболизма, адаптированное к стабильным нагрузкам.

Как следует из полученных результатов, интервал возраста ила 9,3-26,6 суток, является наиболее приемлемым в технологии, так как оптимумы эффективности очистки находятся в указанном диапазоне. При поступлении аномальных сбросов химстоков технологический режим отвода ила может оперативно регулироваться в сторону увеличения его возраста.

Регулирование возраста ила в условиях эксплуатации очистных сооружений возможно методом изменения объема (количества) отводимого ила из аэротенков. Технологически более удобно и менее затратно отводить меньшие объемы ила, поэтому из полученных оптимумов диапазона возрастов ила для последующего регулирования технологии предпочтительно выбирать варианты биоочистки с илом максимального возраста.

Литература

1. Михайлова Е.О., Ахмадиева С.В., Хабибуллина Л.И., Шулаев М.В. *Вестник Казанского технологического университета*, Т. 15, №7, с.184-188 (2011).
2. Кирсанов В.В. Теоретические и практические аспекты биологической очистки сточных вод в аэротенках: Монография/ Под ред. проф. А.Н. Глебова. Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2010, 264 с.
3. Кирсанов В.В. Современные технико-технологические методы защиты окружающей среды. Т.1. Процессы и аппараты защиты гидросферы/ В.В. Кирсанов.- Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2013, 496 с.

© В. В. Кирсанов – д-р техн. наук., проф. каф. общей химии и экологии КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, VVKirsanov@gmail.com.

© V. V. Kirsanov - Dr. Sci. Sciences, prof. Department. general chemistry and ecology KNTU-KAI the. A.N. Tupolev, VVKirsanov@gmail.com.