



УДК 628.356.33:[664.3:665.2/3]

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КИНЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БИОХИМИЧЕСКОГО ОКИСЛЕНИЯ ВЕЩЕСТВ СТОЧНЫХ ВОД МАСЛОЖИРОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

© В.Н. Саинова, А.Н. Костров

«Астраханский государственный технический университет»,

Анализ существующих методов очистки сточных вод масложировой промышленности показывает, что наиболее эффективный способ – биологическая очистка. Экспериментальное изучение кинетики окисления представляет большой практический интерес. Авторами впервые получены константы уравнений ферментативных реакций процесса одноступенной биологической очистки сточных вод масложировой промышленности.

The analysis of existing methods of sewage treatment of butter-fat industries, that the most effective way - biological clearing. Experimental studying kinetic oxidations represents the big practical interest. Authors receive for the first time constants of the equations enzyme process reactions of own-step biological sewage treatment of butter-fat industries.

Ключевые слова: сточные воды масложировой промышленности, константы уравнений ферментативных реакций, кинетика очистки.

Keywords: sewage of butter-fat industries, constants of the equations enzyme reactions, kinetic of clearings.

В настоящее время определение способа очистки высококонцентрированных сточных вод является одним из наиболее сложных и наукоемких процессов. Анализ существующих методов очистки сточных вод масложировой промышленности показывает, что наиболее эффективным методом является биологическая очистка сточных вод.

Целью настоящих исследований являлся поиск способов оптимизации процесса биологической очистки сточных вод предприятий масложировой промышленности.

Задачами исследований являлись:

1. Определение констант уравнений ферментативных реакций процесса биологической очистки сточных вод предприятий масложировой промышленности.
2. Поиск оптимального режима процесса одноступенной биологической очистки сточных вод.

Научная новизна данной работы заключается в экспериментальном получении констант уравнений ферментативных реакций процесса одноступенной биологической очистки сточных вод масложировой промышленности.

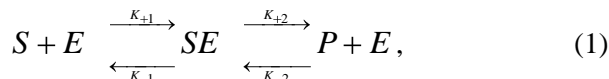
В основе процессов биологической очистки лежит биохимическое окисление органических загрязнений микроорганизмами активного ила в аэробных или анаэробных условиях. Участвуя в конструктивном и энергетическом обмене живой клетки, органические вещества сточных вод претерпевают сложные химические и биологические превращения. В результате катаболических процессов происходит распад этих веществ с образованием более простых органических низкомолекулярных соединений, часть которых подвергается дальнейшему окислению до CO_2 и H_2O с выделением энергии или превращается в продукты метаболизма, а другая часть используется для биосинтеза в процессах анаболизма.

Особенность ферментативных реакций заключается в том, что скорость их не пропорциональна концентрации субстрата, она возрастает до определенного уровня.

Кинетика ферментативных реакций основана на предположении существования фермент-субстратного комплекса и зависимости скорости реакции от скорости его распада. При этом предполагается, что комплекс образуется мгновенно, его концентрация остается постоян-

ной и определяется термодинамическим равновесием между ферментом, субстратом и этим комплексом.

Предполагая, что завершению ферментативной реакции предшествует образование фермент-субстратного комплекса, Михаэлис и Ментен представили эту реакцию следующей схемой:



где S, E, SE и P – соответственно концентрации субстрата, фермента, фермент-субстратного комплекса и продукта реакции.

В результате ими было получено известное уравнение

$$V = \frac{V_{\max} \cdot S}{K_s + S}, \quad (2)$$

где V – скорость реакции при концентрации субстрата S;

V_{\max} – максимальная скорость при лимитировании субстратом;

K_s – константа насыщения.

Это уравнение и его модификации успешно использованы в математических моделях систем биологической очистки сточных вод Хеншельвудом, Гербертом, Даунингом и положены в основу разработок, выполненных НИИ ВОДГЕО.

Экспериментальное изучение кинетики окисления органических веществ сточных вод представляет большой практический интерес, поскольку позволяет оценить степень и характер влияния присутствующих токсичных веществ на скорость окисления, что, в свою очередь, позволяет подобрать оптимальный тип схемы и правильные технологические параметры процессов биологической очистки сточных вод.

Расчет констант и коэффициентов математических моделей элементов технологических схем проводился согласно методике экспериментальных исследований биологической очистки сточных вод, разработанной в НИИ ВОДГЕО [1]. Константы определялись на основе обработки экспериментальных данных, полученных в результате исследований на лабораторной модели сооружений биологической очистки, выполненных на натуральной сточной воде масложирового предприятия.

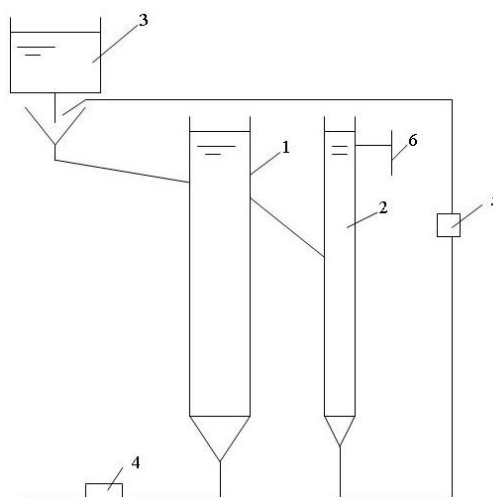


Рисунок 1 - Схема установки с аэротенком-смесителем.

1 - аэротенк, 2 - отстойник, 3 - ёмкость со сточной водой, 4 - расходомер воздуха, 5 - циркуляционный насос, 6 - слив очищенной воды.



Установка действовала следующим образом. Сточная вода непрерывно поступала в аэротенк. В аэротенке находилась иловая смесь, которая аэрировалась сжатым воздухом, поступающим через расходомер 4. При контакте сточной воды с илом в присутствии кислорода осуществлялась её биологическая очистка. Из аэротенка иловая смесь с очищенной водой переливалась в отстойник 2, где активный ил осаждался в коническую часть, очищенная вода через перелив 7 удалялась из установки. Активный ил из отстойника возвращался в аэротенк циркуляционным насосом 5.

Известно, что скорость процесса биологической очистки при прочих равных условиях возрастает с увеличением концентрации активного ила (X_0 , г/л), концентраций растворённого кислорода (C_{O_2} , мг/л) и температуры в аэротенке (T , °C) [2]. В связи с этим в ходе эксперимента контролировали: расход сточной воды (Q , л/ч), воздуха, концентрацию растворенного кислорода. Кроме того в аэротенке регистрировали величину pH, а также значения илового индекса (I , см³/л). Период аэрации определяли по формуле:

$$T_A = \frac{W_A}{Q}, \quad (3)$$

где W_A - объем аэротенка, л.

Величину удельной скорости окисления рассчитывали по формуле:

$$\rho = \frac{S_0 - S_T}{X_0 \cdot (1 - Z) \cdot T_A}, \quad (4)$$

где S_0 и S_T - концентрация субстрата в сточной и очищенной воде, определяемая по БПК₅.

Эксперимент ставили с целью определения параметров оптимального режима работы установки, при котором достигается максимальная производительность при заданном качестве исходной и очищенной воды.

Технологические параметры оптимального режима определяли с помощью расчетных зависимостей, константы и коэффициенты к которым находили в результате обработки опытных данных, полученных на установке с аэротенком-смесителем.

Исследования состояли из нескольких серий опытов, в каждой из которых изменяли один из регулирующих параметров. После расчёта параметров оптимального режима проводили контрольный опыт, который должен был их подтвердить. Последовательность изменения параметров и их величины указаны в таблице 1.

Таблица

Усредненные показатели очистки сточных вод в системе "аэротенк-отстойник"

№ серии опытов	Регулирующие параметры						Контролируемые параметры				
	T_a , час	X_0 , г/л	C_{O_2} , мг/л	S_0 , мг/л	Q , л/ч	T , °C	S_T , мг/л	I , см ³ /л	ρ , мг/г·ч	pH	Z
1-1	6	3,5	10	612	1	21	115	57,1	29,22	7	0,19
1-2	10	3,5	10	687	0,6	22	85	57,1	21,50	7,16	0,20
1-3	12	3,5	10	691	0,5	21,5	40	57,1	18,24	7,39	0,15
2-1	6	2	10	653	1	20	143	100	52,47	7,3	0,19
2-2	6	4	10	711	1	21,5	75	50	33,13	7,48	0,20
2-3	6	5	10	745	1	19	49	40	27,29	7,5	0,15
3-1	6	3,5	4	692	1	21	99	57,1	34,86	7,05	0,19
3-2	6	3,5	7	688	1	21	95	57,1	56,76	7,24	0,20
3-3	6	3,5	10	693	1	20	84	57,1	58,05	7,3	0,15
4-1	6	3,5	10	644,68	1	20	77,44	57,1	33,35	7,1	0,19



В первом приближении при неизменных C_{O_2} и X_0 определялись константы для уравнения вида:

$$\rho = \frac{\rho_m \cdot S_T}{K_S + S_T}, \quad (5)$$

где ρ - удельная скорость окисления по опытным данным, рассчитывалась по формуле (4). Величины ρ_m и K_S определялись по графикам обратных величин (рисунок 2). Положение прямой ВС определялось в результате статистической обработки данных.

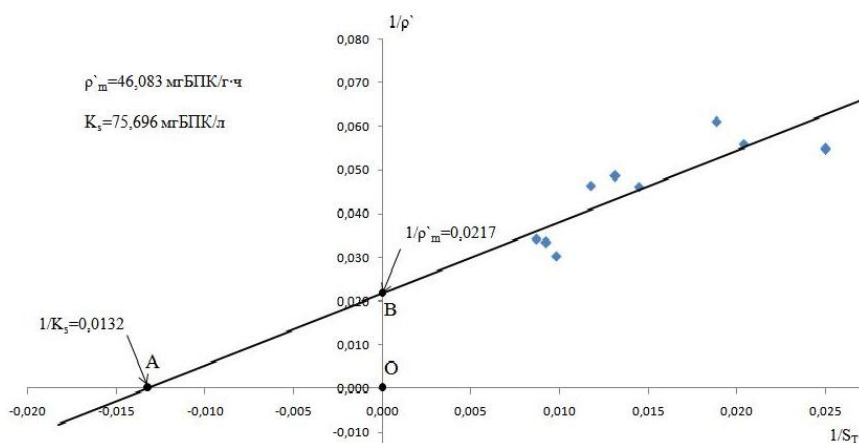


Рисунок 2 - График двойных обратных величин зависимости удельной скорости окисления от величины БПК в очищенной воде.

На графике $\frac{1}{\rho} = f\left(\frac{1}{S_T}\right)$ величина $BO = \frac{1}{\rho_m}$ и $\rho_m = \frac{1}{BO}$, а величина $AO = \frac{1}{K_S}$ и $K_S = \frac{1}{AO}$.

На величину ρ_m влияли значения C_{O_2} и X_0 , поэтому она нуждалась в уточнении. Из серии опытов, где варьировалась величина X_0 (например 2-1, 2-2 и 2-3) по формуле (4) рассчитывались величины ρ для различных значений X_0 .

Влияние X_0 на ρ при $S_T = const$ оценивалось коэффициентом ингибирования ϕ , который определялся по графику $\frac{1}{\rho} = f(X_0)$, представленному на рисунке 3.

Для этого первоначально величины ρ , полученные из опыта, корректировались по формуле:

$$\rho_{2-1}^{\text{кор}} = \rho_{2-1} \frac{S_{1-1} (K_S + S_{2-1})}{S_{2-1} (K_S + S_{1-1})}, \quad (6)$$

где ρ_{2-1} - откорректированное значение величины для серии (2-1) при $S = S_{1-1}$. Для серии (2-2):

$$\rho_{2-2}^{\text{кор}} = \rho_{2-2} \frac{S_{1-1} (K_S + S_{2-2})}{S_{2-1} (K_S + S_{1-1})}. \quad (7)$$

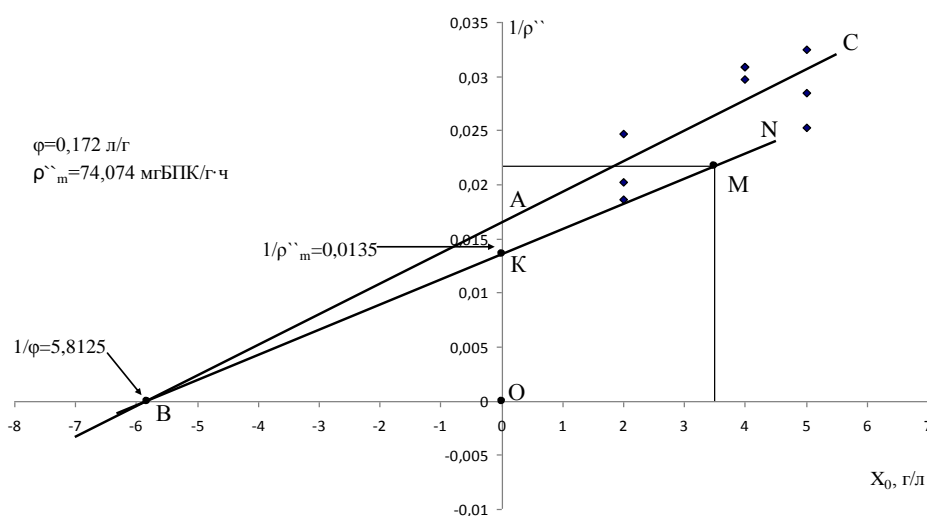


Рисунок 3 - График обратных величин зависимости удельной скорости окисления от концентрации активного ила в аэротенке.

Для графика на рисунке 3 определялись обратные величины $\frac{1}{\rho}$.

На графике $\frac{1}{\rho} = f(X_0)$ прямая, проходящая через точки отсекала отрезки $OB = \frac{1}{\varphi}$, откуда $\varphi = \frac{1}{OB}$.

Уточненное значение $\rho_m = \rho_m^*$ (при втором приближении) определялось следующим образом. Через точку М с координатами $\frac{1}{\rho} = \frac{1}{\rho_m^*}$ и $X_0 = 3,5$ проводилась прямая BN, которая отсекала отрезок $OK = \frac{1}{\rho_m^*}$, откуда откорректированное значение $\rho_m^* = \frac{1}{OK}$.

Совместное влияние S_T и X_0 на ρ при постоянной концентрации кислорода или отсутствии его лимитирования описывается уравнением:

$$\rho = \frac{\rho_m^* \cdot S_T}{K_S + S_T} \cdot \frac{1}{1 + \varphi \cdot X_0}. \quad (8)$$

Влияние концентрации растворенного кислорода на удельную скорость окисления оценивается константой K_0 , которая при неизменных значениях S_T и X_0 определялась по графику

$\frac{1}{\rho} = f\left(\frac{1}{C_{O_2}}\right)$ (например по данным серии опытов 1-1, 3-1, 3-2, 3-3). Положение прямой BC

определялось в результате статистической обработки опытных данных, относящихся к периодам стабильной работы аэротенка при $S_T = const$ и $X_0 = const$.

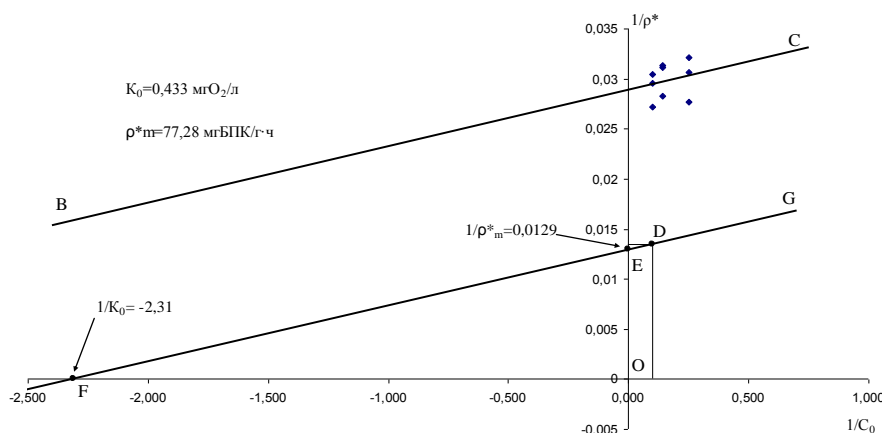


Рисунок 4 - График двойных обратных величин зависимости удельной скорости окисления от концентрации кислорода в аэротенке.

Через точку D на оси $\frac{1}{\rho}$, соответствующую координатам $\frac{1}{\rho^*}$ и $\frac{1}{C_{O_2}}$, где C_{O_2} соответствовала максимальной величине, принятой в опытах, проводилась прямая FG, параллельная прямой BC. Величина константы $K_0 = \frac{1}{FO}$. Вновь откорректированное значение $\rho_m = \frac{1}{OE}$. Совместное влияние S_T , X_0 и C_{O_2} на ρ описывалось уравнением:

$$\rho = \frac{\rho_m \cdot C_{O_2} \cdot S_T}{K_S \cdot C_{O_2} + K_0 \cdot S_T + S_T \cdot C_{O_2}} \cdot \frac{1}{1 + \varphi \cdot X_0} \quad (9)$$

С учетом полученных значений констант уравнение (9) примет вид:

$$\rho = \frac{77,28 \cdot C_{O_2} \cdot S_T}{75,696 \cdot C_{O_2} + 0,433 \cdot S_T + S_T \cdot C_{O_2}} \cdot \frac{1}{1 + 0,172 \cdot X_0} \quad (10)$$

Полученные кинетические зависимости позволяют оптимизировать исследуемую схему очистки. Использование уравнений ферментативных реакций позволяет оптимизировать процесс, выбрать рациональные соотношения объемов сооружений в многоступенчатых схемах и другие технологические параметры их работы.

Выводы:

1. Проведенные исследования на натуральной сточной воде масложировой промышленности позволили определить константы уравнений ферментативных реакций процесса биологической очистки;
2. Определен оптимальный режим процесса одноступенной биологической очистки сточных вод масложировой промышленности, параметры процесса: $T_a = 6$ часов, $X_0 = 3,5$ мг/л, $C_{O_2} = 10$ мг/л.

Библиографический список

1. Биологическая очистка производственных сточных вод. Процессы, аппараты и сооружения / С.В. Яковлев, И.В. Скирдов, В.Н. Швецов и др. – М.: Стройиздат, 1985. – 208 с.
2. Саинова В.Н. Интенсификация биологической очистки и обеззараживания сточных вод рыбоперерабатывающей промышленности. – Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М.: НИИ ВОДГЕО, 1996. – 25 с.