

Р. Э. Хабибуллин, А. М. Петров

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД МОЛОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Ключевые слова: сточные воды, анаэробно-аэробная очистка, разделение фаз процесса, оптимизация процесса очистки, алгоритм.

Представлен алгоритм расчета и оптимизации основных технологических параметров очистки сточных вод молочного производства. Алгоритм разработан на базирание полученных экспериментальных данных и результатов корреляционного анализа взаимосвязей удельной органической нагрузки, скорости потребления органического субстрата и эффективности очистки сточных вод. Вычисления, проведенные с использованием описанного алгоритма, показали, что при учете влияния нагрузки на процесс изъятия органических веществ на последовательных этапах обработки сточных вод возможно 2-5 кратное снижение времени их очистки с соответствующим сокращением общего объема биореакторов.

Keywords: waste water, combined anaerobic-aerobic waste water treatment, phase separation, process optimization, algorithm.

The algorithm of the basic technological parameters calculation and optimization for process of dairy waste water treatment is presented. It was designed on the basis of previously obtained experimental data and results of the correlation analysis of the interrelations of specific organic load rate of the organic substrate consumption rate and treatment efficiency. The calculations, carried out on the basis of described algorithm, showed that consideration of loading rate on the process of the destruction of organic matter in the sequenced treatment stages may cause 2-5 multiple reduction of their clearing time coupled with total bioreactors working volume decreasing.

Введение

Комбинированные анаэробно-аэробные технологии очистки производственных сточных вод пищевых производств позволяют одновременно решать проблемы экологического характера и получать альтернативную энергию [1], поэтому общепризнанно являются энерго-ресурсосберегающими.

Ранее были представлены результаты исследования процесса очистки сточных вод молокоперерабатывающего предприятия в комбинированной лабораторной установке. Показано, что с увеличением скорости протока эффективность работы анаэробной ступени уменьшалась, в то время как с ростом органической нагрузки эффективность работы лабораторной установки возрастала, причем пространственное разделение фаз анаэробной ступени существенно повышало эффективность очистки сточных вод [2].

Позднее эти данные были подвергнуты корреляционному анализу последующей параметрической идентификацией ряда зависимостей, в частности, эффективности очистки сточных вод и скорости потребления органического субстрата от удельной органической нагрузки и гидравлической скорости протока [3]. Планировалось использовать выявленные корреляционные зависимости для математического моделирования и оптимизации процесса анаэробно-аэробной биологической очистки сточных вод предприятий по переработке молока.

Экспериментальная часть

Лабораторные пилотные установки для моделирования процесса биологической очистки сточных вод предприятия по переработке молока, условия проведения экспериментов и, наконец, результаты лабораторных опытов были описаны ранее [1].

В настоящей статье описывается алгоритм оптимизации процесса с использованием этих кор-

реляционных зависимостей. При этом были приняты следующие допущения:

Общее количество ступеней очистки $i_{\max}$ (в блок-схеме принято обозначение $I_{\max}$) принято равным четырем ($i_{\max}=4$), из них первая и вторая ступени - анаэробные, третья и четвертая - аэробные. Этот порядок ступеней соответствует ранее описанному [1] условиям проведения эксперимента.

Удельную скорость протока D , сут^{-1} , и удельную органическую нагрузку L , $\text{мг O}_2 \cdot \text{дм}^{-3} \cdot \text{сут}^{-1}$, рассчитывали по ранее описанным формулам:

$$D = G / V_p,$$

где G – объемный расход жидкости, $\text{дм}^3 \cdot \text{сут}^{-1}$;

V_p – объем биореактора, дм^3 ;

$$L = S_{\text{вх}} \cdot D,$$

где $S_{\text{вх}}$ – концентрация органического вещества во входящей жидкости, $\text{мг O}_2 \cdot \text{дм}^{-3}$.

Основные обозначения параметров, использованные на блок-схеме представленного алгоритма, следующие:

S_1 – концентрация органического вещества на входе в установку, $\text{мг O}_2 \cdot \text{дм}^{-3}$;

S_i – концентрация органического вещества на выходе из ступени согласно требуемой эффективности очистки, $\text{мг O}_2 \cdot \text{дм}^{-3}$;

S – фактическая концентрация органического вещества на выходе из установки, $\text{мг O}_2 \cdot \text{дм}^{-3}$;

X_i – концентрация биомассы микробного сообщества на i -ой ступени установки, $\text{г} \cdot \text{дм}^{-3}$;

G – объемный расход жидкости, $\text{дм}^3 \cdot \text{сут}^{-1}$;

L_i – удельная органическая нагрузка на i -ой ступени установки, $\text{мг O}_2 \cdot \text{дм}^{-3} \cdot \text{сут}^{-1}$;

$L_{i \min}, L_{i \max}$ – минимальные и максимальные значения удельной органической нагрузки на i -ой ступени установки, $\text{мг O}_2 \cdot \text{дм}^{-3} \cdot \text{сут}^{-1}$;

Z_i – объем i -ой ступени установки, дм^3 ;

N – шаг итерации объема ступени биореактора, дм^{-3} ;

P_i - удельная скорость изъятия загрязнений на i -ой ступени установки, $г \cdot г^{-1} \cdot сут^{-1}$;
 T_i - время очистки сточных вод на i -ой ступени установки, сут;
 T - общее время очистки сточных вод в установке, сут;
 E - эффективность процесса очистки, %.

Результаты и их обсуждение

Блок-схема программы представлена на рисунке 1.

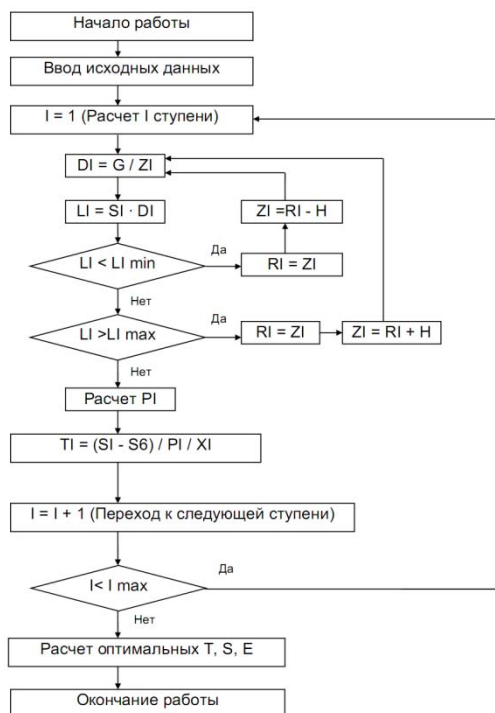


Рис. 1 - Блок-схема алгоритма оптимизации процесса анаэробно-аэробной очистки сточных вод молочного производства

Для расчета времени пребывания очищаемой сточной воды на i -ой ступени биореактора использовали кинетическую формулу (1), учитывающую зависимость времени очистки T_i от удельной скорости изъятия загрязнений P_i и концентрации активной биомассы X_i :

$$T_i = \frac{S_{i \text{ вх}} - S_{i \text{ вых}}}{P_i \cdot X_i} \quad (1)$$

где $S_{i \text{ вх}}$ - концентрация органического вещества на входе в i -ую ступень, $мг \text{ O}_2 \cdot дм^{-3}$;
 $S_{i \text{ вых}}$ - конечная концентрация органического вещества на выходе из i -ой ступени, $мг \text{ O}_2 \cdot дм^{-3}$;
 P_i - удельная скорость потребления (деструкции) органических загрязнений, $г \cdot г^{-1} \cdot сут^{-1}$;
 X_i - концентрация активной биомассы i -ой ступени установки, $г \cdot дм^{-3}$.

Для реализации данного алгоритма на основе полученных в исследованиях численных результатов была разработана компьютерная программа, при помощи которой проводились расчеты.

При этом принимались следующие экспериментально полученные и рассчитанные на их основе численные значения параметров процесса сточных вод молочного производства (Табл.1).

Таблица 1 – Численные значения параметров процесса очистки сточных вод молочного производства

Параметр	Ед. изм.	Численное значение
Объемный расход поступающей на очистку жидкости G	$дм^3 \cdot сут^{-1}$	$(1,87 \pm 0,2)$
Концентрации биомассы X_i на 1-4 ступенях	$г \cdot дм^{-3}$	$<G<$ $(3,6 \pm 0,7)$ $X_1 = 5,0-7,0$ $X_2 = 5,0-7,0$ $X_3 = 3,0-3,5$ $X_4 = 1,0-1,5$
Концентрация органических загрязнений в очищаемой жидкости S_1	$мг \text{ O}_2 \cdot дм^{-3}$	$(3,46 \pm 0,83)$ $<S_1<$ $(6,80 \pm 1,63)$
Интервал оптимальных значений удельной органической нагрузки по ступеням $L_{i \text{ min}} < L_i < L_{i \text{ max}}$	$мг \text{ O}_2 \cdot дм^{-3} \cdot сут^{-1}$	$14,0 < L_1 < 15,0$ $6,0 < L_2 < 8,9$ $2,5 < L_3 < 2,8$ $0,3 < L_4 < 0,6$
Требуемая эффективность очистки E	%	$E = 98-99$

Величины удельных скоростей деструкции органических загрязнений поступаемым вычислялись с помощью ранее полученных аналитических зависимостей различного вида. Численные значения коэффициентов этих зависимостей, принятые для расчетов, приведены в Табл.2.

Таблица 2 – Аналитические зависимости удельной скорости потребления органического вещества ρ от удельной органической нагрузки L по ступеням

Ступень	Вид зависимости
1 ступень	$\rho = -0,0005 \cdot L^2 + 0,0162 \cdot L - 0,078$
2 ступень	$\rho = 0,0054 \cdot L + 0,0008$
3 ступень	$\rho = 0,0095 \cdot L - 0,0025$
4 ступень	$\rho = 0,0167 \cdot L - 0,0002$

Задача оптимизации процесса анаэробно-аэробной очистки сточных вод молочного производства при задании величины определенной эффективности очистки, таким образом, сводилась к минимизации рабочих объемов биореакторов i -ой ступени, обеспечивающих максимально возможное значение удельной скорости деструкции органического вещества на соответствующей ступени, полученное ранее из экспериментальных данных.

Выводы

1. Разработан алгоритм расчета показателей эффективности очистки сточных вод молочного производства с учетом удельной скорости изъятия органических загрязнений на каждой ступени.

2. Для реализации данного алгоритма на основе полученных в исследованиях численных результатов была разработана компьютерная программа.

3. Проведенные при помощи данной программы расчеты и оптимизация технологического процесса показали, что при учете влияния нагрузки на скорость изъятия органических веществ на последовательных этапах обработки сточных вод возможно 2-5 кратное снижение времени их очистки.

4. Использование предложенного алгоритма при проектировании и внедрении промышленных биотехнологий очистки сточных вод позволяет сократить капитальные и эксплуатационные расходы при сохранении высокой эффективности очистки сточных вод.

Литература

1. Хабибуллин Р.Э., Князев И.В., Хасанова Э.Ф., Петров А.М. Энергетический потенциал сточных вод пищевых производств Республики Татарстан в процессе их анаэробной очистки // Сборник тезисов Второго международного конгресса «ЕвразияБио-2010» (Москва, 13-15 апреля 2010 года), с.201-203.
2. Хабибуллин Р.Э., Петров А.М., Князев И.В., Хасанова Э.Ф., Абдуллина Ф.М. Технологические аспекты комбинированной анаэробно/аэробной технологии очистки сточных вод молочного производства // Вестник Казанского технологического университета. - 2010. - № 11. - с.317-326.
3. Хабибуллин Р.Э., Петров А.М., Князев И.В. Корреляционный анализ эффективности технологии очистки сточных вод молочного производства в зависимости от основных технологических параметров // Вестник Казанского технологического университета. - 2012. - № 16. - с. 188-190.
4. Хенце М., Армоэс П., Ля-Кур-Янсен Й., Арван Э. Очистка сточных вод. Биологические и химические процессы. М: Мир. – 1986. - 480 с.

© **Р. Э. Хабибуллин** – канд. техн. наук, доц. каф. технологии пищевых производств КНИТУ, hrustik@yandex.ru; **А. М. Петров** – канд. биол. наук, зав. лаб. экологических биотехнологий Института проблем экологии и недропользования АН РТ.