

Р. Э. Хабибуллин, А. М. Петров, И. В. Князев

КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД МОЛОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ОСНОВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Ключевые слова: сточные воды, комбинированная анаэробно-аэробная очистка сточных вод, разделение фаз процесса, эффективность очистки, удельная скорость протока, удельная органическая нагрузка, корреляция.

Представлены результаты корреляционного анализа взаимосвязей удельной органической нагрузки, скорости потребления органического субстрата и эффективности очистки сточных вод молочного производства. Планируется использование выявленных корреляционных зависимостей для математического моделирования и оптимизации процесса анаэробно-аэробной очистки сточных вод молочных производств.

Keywords: waste water, combined anaerobic-aerobic waste water treatment, phase separation, the treatment efficiency, specific dilution rate, specific organic load rate, correlation.

The results of correlation analysis between specific organic load rate, organic substrates consumption rate and dairy wastewater treatment efficiency are presented. It is planned to use the identified correlations for mathematical modeling and optimization of anaerobic-aerobic dairy wastewater treatment process.

Введение

К числу перспективных энерго- и ресурсосберегающих технологий очистки производственных сточных вод пищевых производств относятся комбинированные анаэробно-аэробные технологии, позволяющие одновременно решать проблемы экологического характера и получать альтернативную энергию в виде биогаза [1].

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, что вызвано вымыванием неиммобилизованной взвешенной анаэробной биомассы, в то время как с ростом органической нагрузки эффективность работы лабораторной установки возрастала. С помощью пространственного разделения фаз анаэробной ступени удалось существенно повысить эффективность очистки сточных вод [2].

Целью настоящей работы являлось проведение в процессе лабораторного моделирования процесса биологической очистки сточных вод корреляционного анализа зависимостей эффективности очистки сточных вод и скорости потребления органического субстрата с удельной органической нагрузкой и последующей параметрической идентификации этих зависимостей.

Выявленные корреляционные зависимости планируется в последующем использовать для математического моделирования и оптимизации процесса анаэробно-аэробной биологической очистки сточных вод предприятий по переработке молока.

Экспериментальная часть

При лабораторном моделировании процесса биологической очистки сточных вод были использованы как реальные сточные воды с действующего предприятия по переработке молока, производства сливочного масла, сухого цельного и сухого обез-

жиренного молока, так и модельные сточные воды аналогичного химического состава. Модельные сточные воды готовили с учетом ранее проведенного химического анализа основных качественных характеристик (ХПК, содержание жиров, содержание взвешенных веществ).

Лабораторные пилотные установки включали анаэробный и аэробный этапы обработки сточных вод с суспензированной и иммобилизованной биомассой. Подробно они были описаны ранее [2] и включали в себя установку А с разделением анаэробной и аэробной ступени на две фазы, то есть соответственно биореакторы А1, А2 (аэробные), А3, А4 (анаэробные), и установку В без разделения ступеней на фазы, включая соответственно биореакторы В1 (анаэробный) и В2 (аэробный).

Процесс биоочистки вели в условиях варьирования удельной скорости протока D и удельной органической нагрузки L путем изменения объемного расхода сточной воды G и ее химического состава, как описано ранее [2], до установившегося стационарного режима.

Результаты и их обсуждение

Учитывая те обстоятельства, что ключевыми параметрами, определяющими эффективность микробного метаболизма в непрерывных условиях культивирования, являются скорость протока очищаемой сточной воды и суммарная концентрация органических веществ в ней, варьировали скорость протока и начальную концентрацию органических веществ в очищаемой сточной воде. Эти изменения приводили к пропорциональному изменению удельной органической нагрузки как на установку в целом, так и на отдельные ступени реактора.

По результатам измерения суммарного содержания органических веществ (ХПК) [3] на входе и выходе из отдельных ступеней биореактора по ранее указанным формулам [2, 4] были рассчитаны величины удельной органической нагрузки L и эффективности очистки \mathcal{E} постадийно (табл. 1).

Таблица 1- Средние значения нагрузки и эффективность очистки на последовательных этапах обработки сточных вод

Ступень очистки	Удельная органическая нагрузка L, кг ХПК*м ⁻³ *сут ⁻¹	Эффективность очистки Э, %
Установка А		
Режим 1		
A1	9,89	44,4
A2	2,8	48,5
A3	0,89	4,4
A4	0,1	1,4
Режим 2		
A1	15,19	41,1
A2	4,37	42,4
A3	3,24	14,8
A4	0,11	1,1
Режим 3		
A1	18,42	29,7
A2	6,46	57,4
A3	3,17	10,2
A4	0,22	1,6
Установка В		
Режим 1		
B1	5,79	39,9
B2	1,21	35,8
Режим 2		
B1	10,78	51,4
B2	2,02	82,3
Режим 3		
B1	12,28	44,1
B2	2,59	37,3

По этим экспериментально полученным численным значениям эффективности очистки в отношении соответствующей удельной органической нагрузки, можно определить параметры корреляционной зависимости $\Theta = f(L)$.

При анализе корреляции указанных параметров было выяснено, что если на 1 ступени очистки отсутствует зависимость между эффективностью очистки и нагрузкой по органическому веществу (рис. 1), о чем свидетельствует низкое положительное значение коэффициента корреляции, равное 0,10, то на последующих ступенях установки наблюдаются корреляционные зависимости между рассматриваемыми параметрами (рис. 2-4) с высокими значениями коэффициентов корреляции.

Аналогичный корреляционный анализ был проведен для удельной скорости потребления органического вещества S , г*г⁻¹*час⁻¹, на отдельных ступенях. Коэффициенты линейной зависимости и коэффициенты корреляции также приведены в табл. 2.

В результате корреляционного анализа экспериментальных данных, проведенного при помощи стандартной программы Microsoft Office Excel, были получены аналитические линейные зависимости, которые предполагается использовать при математическом моделировании процесса

анаэробно-аэробной очистки сточных вод молочных производств с последующей их оптимизацией.

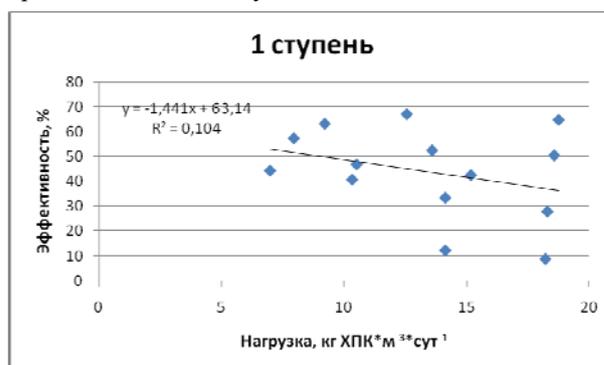


Рис. 1 - Корреляция эффективности очистки Э и удельной органической нагрузки L (A1)

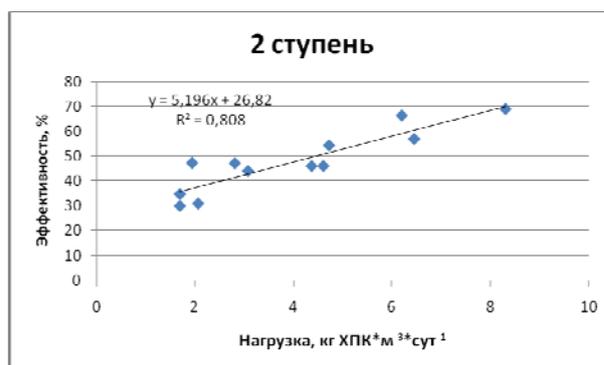


Рис. 2 - Корреляция эффективности очистки Э и удельной органической нагрузкой L (A2)

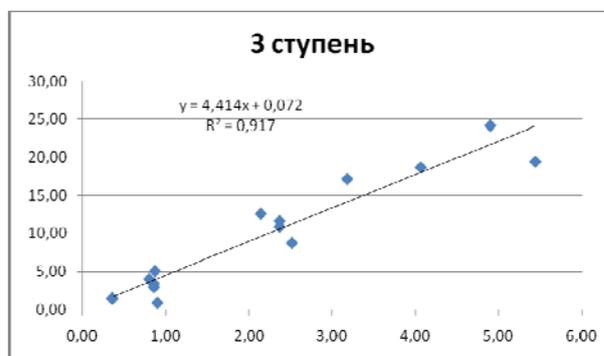


Рис. 3 - Корреляция эффективности очистки Э и удельной органической нагрузкой L (A3)

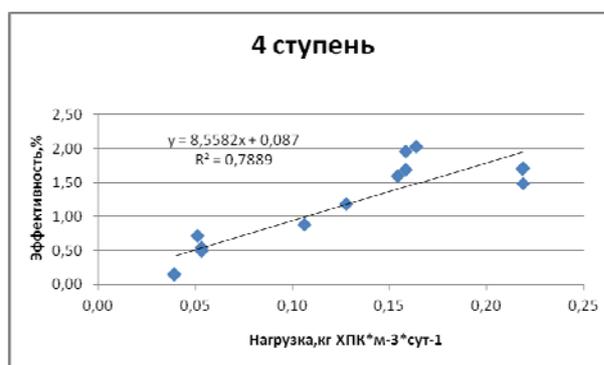


Рис. 4 - Корреляция эффективности очистки Э и удельной органической нагрузкой L (A4)

Таблица 2 – Корреляционные зависимости эффективности очистки Θ (%) и удельной скорости потребления субстрата C ($г \cdot г^{-1} \cdot час^{-1}$) от удельной органической нагрузки L ($кг \text{ ХПК} \cdot м^{-3} \cdot сут^{-1}$)

Ступень	Зависимость	Коэффициент корреляции
$\Theta = f(L)$		
A1	$\Theta = -1,44 \cdot L + 63,14$	0,10
A2	$\Theta = 5,20 \cdot L + 26,83$	0,81
A3	$\Theta = 4,41 \cdot L + 0,07$	0,92
A4	$\Theta = 8,56 \cdot L + 0,09$	0,79
$C = f(L)$		
A1	$C = -0,0005 \cdot L^2 + 0,0162 \cdot L - 0,078$	1,0
A2	$C = 0,0054 \cdot L + 0,0008$	0,96
A3	$C = 0,0095 \cdot L - 0,0025$	0,98
A4	$C = 0,0167 \cdot L - 0,0002$	0,99

Низкое значение коэффициента корреляции параметров (0,10), то есть практически полное отсутствие взаимосвязи между нагрузкой и эффективностью очистки на первой ступени очистки определяется, вероятно, флуктуациями характеристик сточных вод, поступающих в установку. Первая ступень очистки в данном случае выполняет буферную функцию, нивелируя колебания качественных характеристик сточных вод перед их поступлением на последующие ступени их обработки.

Выводы

Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о положительной корреляционной за-

висимости эффективности очистки и скорости потребления органического субстрата от величины удельной органической нагрузки на установку в целом и на отдельные ступени процесса.

Выявленные в результате корреляционного анализа зависимости эффективности очистки и скорости потребления органического вещества от величины удельной органической нагрузки указывают на возможность разработки алгоритма оптимизации процесса очистки сточных вод молокоперерабатывающих производств.

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. ГН 2.1.5.1315-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования (с дополнениями). М.: Минздрав России, 2003 г.)
4. Хенце М., Армозс 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. ТПП КНИТУ, hrustik@yandex.ru; А. М. Петров – канд. биол. наук, зав. лаб. экологических биотехнологий ГБУ Институт проблем экологии и недропользования АН РТ; И. В. Князев – науч. сотр. лаб. экологических биотехнологий ГБУ Институт проблем экологии и недропользования АН РТ.