

УДК 628.35

Н. А. Макиша, Д. Г. Смирнов

ГЛУБОКОЕ УДАЛЕНИЕ АММОНИЙНОГО АЗОТА ИЗ СТОЧНЫХ ВОД С ПРИМЕНЕНИЕМ ПЛАВАЮЩЕГО ЗАГРУЗОЧНОГО МАТЕРИАЛА

Рассматриваются вопросы глубокой биологической очистки сточных вод. Приводится описание и результаты исследований по применению для этих целей плавающего загрузочного материала. На основе экспериментальных данных доказана эффективность применения загрузочного материала как способа интенсификации процессов очистки в аэрационных сооружениях. Приводятся данные математической обработки полученных результатов с целью установления соответствия процессов законам ферментативной кинетики.

К л ю ч е в ы е с л о в а: очистка, сточные воды, азот, загрузка.

The article deals with the issue of integrated biological waste water treatment. It reveals the description and the results of the research on the use of floating feed. Experiment data were the basis to prove effectiveness of floating feed as a way to intensify treatment processes in aeration tanks. The article also includes math treatment of the results to correspond them with laws of enzymatic kinetics.

К e y w o r d s: treatment, waste water, nitrogen, floating feed.

Исследования на тему нитрификации и денитрификации сточных вод проводятся уже много лет, в результате чего были выявлены основные закономерности протекания процессов и их зависимость от факторов внешней среды. Также разработан широкий спектр технологических решений и конструкций сооружений очистки сточных вод от аммонийного азота с использованием как аэрационных, так и биофильтрационных сооружений. Однако потенциальные возможности совершенствования и оптимизации процесса не исчерпаны.

Одним из наиболее интересных методов интенсификации процессов удаления аммонийного азота является использование иммобилизованной на плавающем загрузочном материале биомассы. Учеными и специалистами разных стран предложены различные варианты как собственно типов таких материалов, так и технологий с их использованием, при этом наиболее перспективными считаются полимерные материалы с развитой поверхностью.

Исследования процессов глубокой биологической очистки сточных вод с использованием различных образцов загрузочных материалов проводились также в Московском государственном строительном университете. При этом работа была построена таким образом, чтобы изучить влияние на эффективность протекающих процессов очистки как собственно наличия плавающего загрузочного материала, так и отдельных параметров работы, в частности соотношения объема загрузочного материала к объему аэрационного сооружения, времени пребывания, степени рециркуляции.

Первый этап был посвящен изучению возможности собственно использования плавающего загрузочного материала, а также определению оптимальной его концентрации по объему в аэрационном сооружении. Для работы были отобраны три загрузочных материала: полистирол, поливом и биосферы. Характеристики загрузочных материалов даны в табл. 1. При этом выбор материалов был обусловлен различием их характеристик: материал изготовления, форма, плотность, удельная поверхность.

Т а б л и ц а 1

Характеристики загрузочных материалов

Материал	Объемная масса, кг/м ³	Удельная поверхность, м ² /м ³
Полистирол	22	420
Поливом	25	600
Биошары	50	620

Образцы плавающего загрузочного материала исследовались в пилотной установке (рис. 1), в которой была реализована технологическая схема очистки сточных вод в аэротенке. Каждый из материалов исследовался в концентрациях 10, 20 и 30 % от объема аэрационного сооружения. По числу образцов загрузочных материалов исследования на 1-м этапе были разделены на три подэтапа, каждый из которых был посвящен исследованию отдельного образца загрузки. При этом в параллельном режиме исследовалась работа соответствующего типа плавающего загрузочного материала в заданных концентрациях по объему. Для обеспечения достоверности исследований в эксплуатации также находилась контрольная установка, в которой загрузочный материал установлен не был. Время аэрации в установках составляло 8 ч.

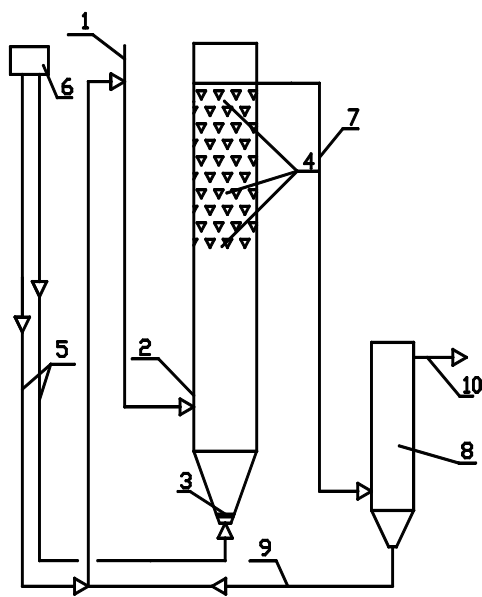


Рис. 1. Схема лабораторной установки на этапе 1: 1 — подача сточной жидкости; 2 — аэротенк; 3 — аэрация; 4 — плавающий загрузочный материал; 5 — подача воздуха; 6 — компрессор; 7 — подача иловой смеси во вторичный отстойник; 8 — вторичный отстойник; 9 — рециркуляция активного ила и нитратной воды; 10 — отвод очищенной сточной воды

Исследования на всех этапах проводились с использованием искусственно приготовленной сточной жидкости на основе пептона. Концентрации загрязняющих веществ были наиболее приближены к существующим в реальной сточной воде. Санитарно-химические анализы для контроля работы установки проводились по общепринятым методикам.

На протяжении данного этапа в установках, оснащенных плавающим загрузочным материалом, эффект удаления аммонийного азота был стабильно выше, чем в контрольной установке, что подтверждает положительное влияние плавающего загрузочного материала на эффективность происходящих в системе процессов очистки. Выбор оптимальной концентрации плавающего загрузочного материала по объему для каждого из образцов проводился на основании лабораторных исследований и математической обработки данных, которая включала в себя получение значений нагрузки на ил в системе, а также скоростей окисления по БПК₅ и NH₄. Математическое описание зависимости скорости ферментативной реакции от концентрации субстрата производилось на основании формулы Михаэлиса — Ментен и метода ее линеаризации, разработанного Лайнувером и Берком.

Для плавающего загрузочного материала полистирол оптимальной была признана концентрация 10 % от объема аэрационного сооружения, а для плавающих загрузочных материалов поливом и биошары — 20 % от объема аэрационного сооружения. В табл. 2 представлены средние значения показателей очистки для установок с оптимальным количеством плавающего загрузочного материала и контрольной установки.

Т а б л и ц а 2

Вид загрузочного материала	Средние значения показателей, мг/л					
	БПК ₅			NH ₄		
	Вх.	Вых.	Э, %	Вх.	Вых.	Э, %
Полистирол	155	8	95	22,1	3,1	86
Поливом	161	6,7	96	26,6	4,9	82
Биошары	144	6,4	96	22,7	4,3	81
Контроль	150	12,6	92	23,0	10,3	55

Таким образом, были получены опытные доказательства интенсификации процессов глубокой биологической очистки сточных вод от органических загрязнений и аммонийного азота при использовании плавающего загрузочного материала различных типов.

После того на этапе 1 были получены в целом положительные результаты, исследования были продолжены. На этапах 2 и 3, на которых рассматривались двухступенчатые технологические схемы очистки с целью достижения нормативных показателей очистки, приведены результаты работы экспериментальных установок и математическое описание протекающих процессов очистки. Аэрационные установки на этапах 2 и 3 оснащались исследуемыми типами загрузочных материалов в определенных в ходе этапа 1 оптимальных концентрациях.

На этапе 2 эксперимента по совершенствованию процессов удаления органических загрязнений и аммонийного азота исследовалась работа пилотной установки (рис. 2), на которой в качестве первой ступени биологической очистки использовался аэрационный реактор, в качестве второй ступени — биофильтрационный реактор.

В первую очередь на данном этапе исследований необходимо было определить наиболее эффективно работающий плавающий загрузочный мате-

риал в аэрационном реакторе данной технологической схемы. В результате экспериментально было выявлено, что наилучших показателей очистки как по органическим загрязнениям, так и по аммонийному азоту удалось достичь при использовании плавающего загрузочного материала поливом. Биофилтратационный реактор был оснащен засыпной цилиндрической полимерной загрузкой с напылением. Удельная поверхность данного загрузочного материала составила $300 \text{ м}^2/\text{м}^3$, удельная масса — $100 \text{ кг}/\text{м}^3$.

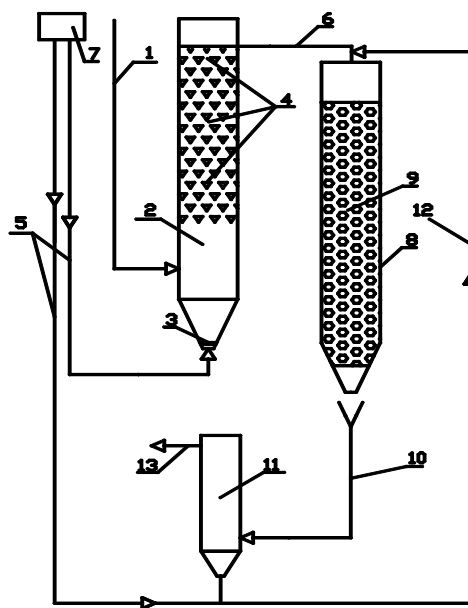


Рис. 2. Схема лабораторной установки на этапе 2 эксперимента: 1 — подача сточной жидкости; 2 — аэрационный реактор; 3 — аэратор; 4 — плавающий загрузочный материал; 5 — подача воздуха; 6 — отвод очищенной в аэрационном реакторе сточной воды в биофилтратационный реактор; 7 — компрессор; 8 — корпус биофилтратационного реактора; 9 — загрузочный материал биофилтратационного реактора; 10 — отвод биологически очищенной воды во вторичный отстойник; 11 — вторичный отстойник; 12 — рециркуляция активного ила и нитратной воды; 13 — отвод очищенной сточной воды

После определения оптимального загрузочного материала данная технологическая схема исследовалась в различных режимах и условиях работы с целью достижения нормативных показателей очистки сточных вод. Время обработки сточных вод варьировалось от 5 до 8 ч. Концентрация растворенного кислорода составляла около 7 мг/л. Было отмечено, что работа аэрационного сооружения без возврата рециркулирующей иловой смеси при малой дозе взвешенного активного ила в аэрационном реакторе, не превышавшей в ходе эксперимента 0,2 г/л, оказала положительное влияние на эффективность работы системы. Доза прикрепленной на плавающем загрузочном материале биомассы составляла в среднем 0,9 г/л. Наибольшего эффекта очистки и одновременно установленных нормативами показателей очистки по БПК₅, аммонийному азоту и нитратам удалось добиться при времени пребывания сточной жидкости в аэрационном сооружении 8 ч. Эффект удаления фосфатов не превышал 40 %, что соответствовало традиционной биологической очистке.

В результате математической обработки полученных результатов были получены значения скоростей протекающих в системе процессов окисления и денитрификации.

На основании метода линеаризации Лайнуивера — Берка зависимость Михаэлиса — Ментен для скорости окисления органических загрязнений от концентрации БПК₅ (1) и скорости окисления аммонийного азота от его концентрации (2) принимает вид:

$$V = \frac{V_{\max} S}{k_m + S} = \frac{47,6 L_{ex}}{3,3 + L_{ex}}; \quad (1)$$

$$V = \frac{V_{\max} S}{k_m + S} = \frac{14,3 NH_{4ex}}{4 + NH_{4ex}}. \quad (2)$$

На этапе 3 были продолжены исследования по совершенствованию процессов удаления органических загрязнений и аммонийного азота. В пилотной установке была рассмотрена работа двухступенчатой технологической схемы (рис. 3). В качестве первой ступени биологической очистки использовался биофильтрационный реактор, а в качестве второй ступени — аэрационный реактор.

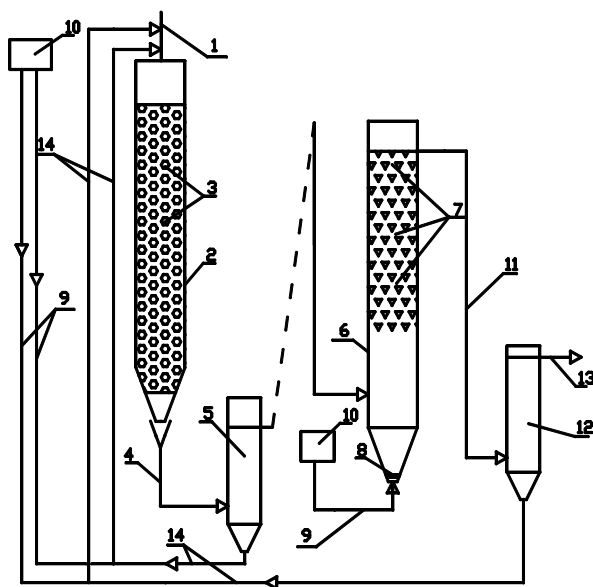


Рис. 3. Схема лабораторной установки на этапе 3 эксперимента: 1 — подача сточной жидкости; 2 — корпус биофильтрационного реактора; 3 — загрузочный материал биофильтрационного реактора; 4 — отвод очищенной в биофильтрационном реакторе сточной жидкости; 5 — вторичный отстойник первой ступени; 6 — корпус аэрационного реактора; 7 — плавучий загрузочный материал; 8 — аэратор; 9 — подача воздуха; 10 — компрессор; 11 — отвод иловой смеси во вторичный отстойник; 12 — вторичный отстойник второй ступени; 13 — отвод очищенной сточной воды; 14 — рециркуляционный поток

В рамках данного этапа изучалась работа пилотной установки в различных режимах. Время пребывания сточной жидкости варьировалось от 5 до 8 ч. Для достижения стабильной работы между ступенями биологической очистки был

установлен промежуточный отстойник для задержания отжившей биопленки после биофильтрационного реактора. Также эта мера позволила поддерживать в аэрационном сооружении малую дозу ила, эффективность использования которой была экспериментально доказана в ходе этапа 2.

В результате наибольшего эффекта удаления загрязнений на уровне 98...99 % как по БПК₅, так и по аммонийному азоту, а также нормативных показателей очистки по БПК₅, аммонийному азоту, нитритам и нитратам удалось добиться при использовании в аэрационном реакторе плавающего грузочного материала биошары. Время аэрации составляло 8 ч, доза взвешенного активного ила 0,7...0,8 г/л, прикрепленного — 0,3 г/л. Доза растворенного кислорода в аэрационном сооружении была на уровне 6...7 мг/л. Эффект удаления фосфатов вновь не превышал 40 % и соответствовал традиционной биологической очистке.

После проведения лабораторных исследований были определены скорости окисления органических загрязнений и загрязнений по аммонийному азоту, а также скорости денитрификации. На данном этапе исследований также были получены значения скоростей протекающих в системе процессов денитрификации.

На основании метода линеаризации Лайнуивера — Берка зависимость Михаэлиса — Ментен для скорости окисления органических загрязнений от концентрации БПК₅ (3) и скорости окисления аммонийного азота от его концентрации (4) принимает вид:

$$V = \frac{V_{\max} S}{k_m + S} = \frac{18,9 L_{ex}}{4,17 + L_{ex}}; \quad (3)$$

$$V = \frac{V_{\max} S}{k_m + S} = \frac{5,56 NH_{4ex}}{0,67 + NH_{4ex}}. \quad (4)$$

Общие выводы

1. Экспериментально доказана возможность и эффективность использования прикрепленной на плавающем грузочном материале при его количестве 20 % от объема аэрационного сооружения биомассы для глубокой биологической очистки сточных вод и удаления аммонийного азота.

2. Экспериментально доказана стабильность и устойчивость биологической системы с иммобилизованной на плавающем грузочном материале микрофлорой при малой дозе взвешенного активного ила до 0,8 г/л в аэрационном реакторе.

3. Получены математические зависимости биологических процессов, протекающих в системах с плавающим грузочным материалом и малой дозой активного ила.

© Макиша Н. А., Смирнов Д. Г., 2012

Поступила в редакцию
в октябре 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Макиша Н. А., Смирнов Д. Г. Глубокое удаление аммонийного азота из сточных вод с применением плавающего грузочного материала // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2012. Вып. 3 (23).