

УДК 628.543

ОПЫТНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ БИОДЕСТРУКЦИИ АЗОТСОДЕРЖАЩИХ СОЕДИНЕНИЙ СТОЧНЫХ ВОД

²Исаков И.В., ¹Ксандров Н.В., ¹Павлова И.В., ²Рехалов А.И.

¹ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет
им. Р.Е. Алексеева», Дзержинск, e-mail: 1924TNV@mail.ru;

²ОАО «Дзержинский Водоканал», Дзержинск, e-mail: sekretar@istok.sinn.ru

Объектом исследования является процесс нитрификации и денитрификации азотсодержащих соединений сточных вод, искусственно воссозданный в опытно-эксплуатационном комплексе. В статье приведены основные средства и методы анализа работы комплекса, его конструкционные и инженерные особенности, а также результаты математического моделирования структуры и параметров опытно-эксплуатационного комплекса. В ходе исследования определены основные параметры зон пилотного комплекса для максимально эффективного протекания процессов нитрификации и денитрификации, точки установки средства АСУ ТП, объемы подаваемых сточных вод, нитратного рецикла, возвратного ила. Полученные данные по геометрии зон сооружения и объемам сред позволят провести проектирование реальных сооружений биологической очистки на действующих очистных сооружениях города Дзержинска с минимальными приближениями. Проведенные исследования также позволят сократить затраты на проектирование, эксплуатацию и гарантировать степень очистки в соответствии с требованиями и нормативами на сброс очищенных сточных вод в водоем рыбохозяйственного назначения.

Ключевые слова: нитрификация, денитрификация, биореактор, моделирование

DEVELOPMENT – MAINTENANCE SIMULATION OF BIODERGADATION NITROGEN COMPOUND WASTEWATER

²Isakov I.V., ¹Ksandro N.V., ¹Pavlova I.V., ²Rekhalov A.I.

¹Nizhny Novgorod State Technical University named R.E. Alekseev,
Dzerzhinsk, e-mail: 1924TNV@mail.ru;

²Dzerzhinskiy Vodokanal, Dzerzhinsk, e-mail: sekretar@istok.sinn.ru

The object of research is the process of nitrification and denitrification of nitrogen compounds wastewater artificially recreated in pilot operational complex. The article presents the basic tools and methods for the analysis of the complex, its construction and engineering features, as well as the results of mathematical modeling of the structure and parameters of development and operational complex. In the study, the main parameters of the pilot areas of the complex for the most efficient flow of nitrification and denitrification processes, the point means ACS installation, volumes supplied wastewater nitrate recycle, return sludge. The data on the geometry of the zone facilities and volume environments will allow for the design of real biological treatment facilities at the existing wastewater treatment plant in Dzerzhinsk with minimal approximations. The research will also help reduce the cost of engineering, commissioning and guarantee the degree of purification in accordance with the requirements and regulations on the discharge of treated wastewater into the pond fishery.

Keywords: nitrification, denitrification, bioreactor, modeling

За период жизни одного поколения инженерный подход к строительству станций очистки воды изменился от прагматичного до научно обоснованного. Прагматичный подход основан на опыте строительства и эксплуатации станций, приобретенном методом проб и ошибок, научный подход – на описании причинно-следственных связей, в основном в математической форме. Преимущество научного подхода заключается в том, что взаимосвязи, положенные в основу проектирования, являются гораздо более универсальными, чем выявленные в ограниченном диапазоне опытов. Из общего инженерного опыта следует, что обобщенное научное описание наилучшим образом соответствует реальной ситуации,

а также более успешно может быть применено для описания условий, выходящих за узкие пределы опытных данных [1].

Станции очистки – это, прежде всего, инженерные сооружения, которые обеспечивают превращение загрязненной воды в чистую. Они представляют собой лишь часть гораздо более широкой системы водообеспечения городов, которая в свою очередь входит в общую систему циркуляции воды и веществ в бассейне канализования [2].

Сложность современных очистных сооружений трудно ограничить рамками проектирования по простым эмпирическим правилам. Сочетание нескольких различных процессов на одной станции (удаление органических соединений, нитрификация,

денитрификация, биологическое удаление фосфора) требует систематизации и структурирования опыта. Математическая формулировка модели вводит такую систематизацию и структурирование. Это создает основу для понимания природы процесса и синтеза накопленного опыта. Необходимо понимать, что математическое описание транспорта и процессов является идеалистическим, оно основано на формальной логике и может быть приведено в соответствие с реальностью только посредством опыта [3].

Структура детерминистской модели заключается в математической формулировке всех законов природы, которые считаются важными для моделирования работы станции очистки. Детальная детерминистская модель основана на редукционистском подходе, в котором все существенные явления описываются в деталях и встраиваются в общую модель в соответствии с фундаментальными принципами интеграции подобно уравнениям массового баланса для воды и каждого компонента системы [4].

Ключевой момент состоит в определении цели анализа, на достижение которой должен быть направлен эксперимент, мониторинг, режим управления станцией и дополнительные эксперименты. Простая подгонка модели может не выявить информации, оправдывающей стоимость проекта [5].

Испытания пилотных установок стоят гораздо больше, чем проведение компьютерного моделирования, но они дают более реальную информацию о работе будущей полномасштабной установки. Основная цель создания и испытания пилотной установки – продемонстрировать, что выбранная конструкция позволяет выполнять необходимую работу. В соответствии с этой задачей пилотная установка работает на протяжении всего периода проведения исследований в режиме аналогичном тому, в котором будет работать полномасштабная станция [4].

Пилотная установка создается и используется также с целью идентифицировать/верифицировать параметры проектирования. Необходимо идентифицировать, какие параметры действительно важны. При одном подходе верифицируют стандартные значения нагрузки, при другом – параметры, использованные для моделирования. Наиболее перспективным является второй подход, он обеспечивает большее количество информации на единицу стоимости, вложенной в пилотную установку. Основная задача состоит в том, чтобы в результате работы пилотной установки искомые параметры могли стать идентифицируемыми.

Это может потребовать таких изменений нагрузки на реактор, которые не совпадают с предполагаемыми нагрузками на полномасштабную станцию. В своем экстремальном выражении идея заключается в том, чтобы довести работу пилотной установки до грани срыва и даже далее и таким образом определить границы безопасного функционирования полномасштабной станции [6].

Существующие компьютерные модели содержат много функциональных зависимостей и много параметров, одни из которых универсальны, тогда как другие определяются местным климатом, характеристиками поступающих на обработку стоков, популяцией бактерий и принципом действия станции. Контролировать все функции и параметры работающей станции не представляется возможным. Некоторые параметры должны быть приняты как универсальные, а некоторые должны быть подобраны путем подгонки модели или определены из эксперимента. Между двумя группами параметров не существует четкой границы, поскольку станция должна работать при хорошо продуманных изменениях режима с тем, чтобы выбранные для анализа параметры были идентифицируемыми [4].

Многие параметры можно определить только посредством экспериментальных методов путем либо частого отбора проб для химического анализа, либо использования датчиков, установленных непосредственно в работающей системе [4]. С целью снижения количества анализов и повышения качества оценки работы пилотной установки необходима комплектация датчиками и системами защиты. Эксплуатационные датчики, установленные в системе, фиксируют изменения концентраций веществ в процессе работы станции. Измерения в режиме работающей системы дают несметное количество информации, с которой невозможно справиться без интерпретации в рамках модели и автоматической оценки параметров. Существуют новые методы, пригодные для оценки полученных таким методом параметров, однако следует понимать, что они позволяют оценить немногие параметры, причем лишь те, которые поддаются идентификации на основе собранных данных. В данном случае также важно правильно поставить задачу и определить пути ее решения [5].

Цель исследования. Верификация данных математического моделирования с применением опытно-эксплуатационного комплекса для снижения вероятности возможных ошибок, возникающих при недостоверности исходных данных или эмпирических параметров. Оптимизация

параметров процесса нитрификации и денитрификации с целью снижения содержания аммонийного азота и нитратов до нормативов, удовлетворяющих требованиям законодательства в вопросах сброса очищенных сточных вод в водоемы рыбохозяйственного назначения.

Материалы и методы исследования

Основным материалом исследования является обработанная в биореакторе сточная жидкость смешанного типа и иловая смесь, анализируемые с помощью лабораторных методов и средствами оперативного контроля работы опытно-эксплуатационного комплекса. Измерение содержания аммоний-ионов и нитрат-ионов проводилось с помощью цифрового погружного комбинированного ионоселективного датчика нитратного и аммонийного азота HACH LANGE AN-ISE sc. Сбор и передача данных в оперативном режиме производился с помощью системы HACH LANGE sc1000. Технологи-

ческая схема опытно-эксплуатационного комплекса представлена на рис. 1.

Содержание аммоний-ионов в очищенной сточной жидкости определяли в лабораторных условиях фотометрическим методом, с предварительным отстаиванием и отделением активного ила, после взаимодействия содержащихся ионов аммония с тетраидомеркуратом калия в щелочной среде с образованием коричневой нерастворимой в воде соли основания Миллона, переходящей в коллоидную форму при малых содержаниях ионов аммония. Интенсивность окраски прямо пропорциональна концентрации аммоний-ионов в растворе пробы. Измерение содержания нитрат-ионов в очищенной сточной жидкости производили фотометрическим методом с предварительным разделением иловой смеси на осветленную воду и активный ил и разбавлением пробы. Метод определения массовой концентрации нитрат-иона основан на взаимодействии нитрат-ионов с салициловой кислотой с образованием желтого комплексного соединения.

Результаты математического моделирования опытно-эксплуатационного комплекса представлены в таблице.

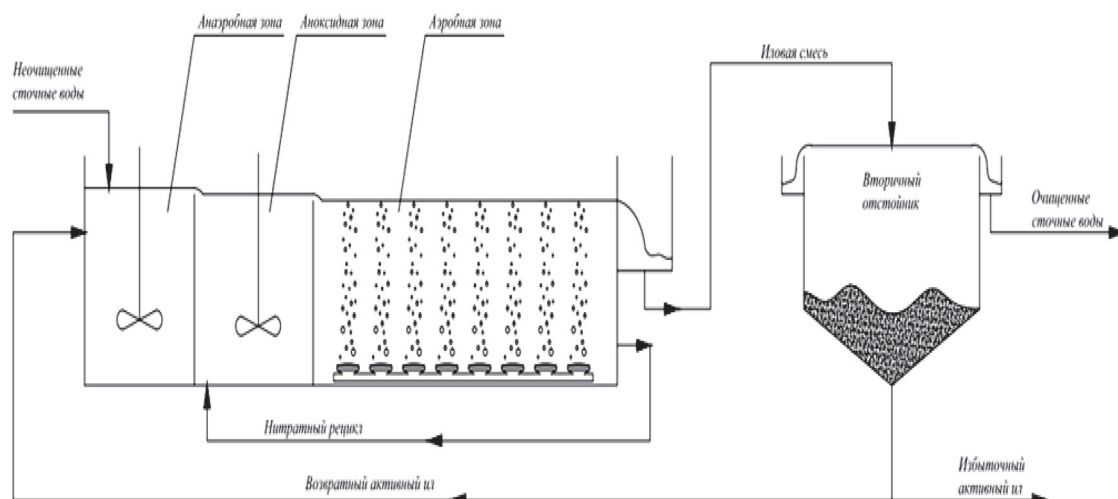


Рис. 1. Технологическая схема опытно-эксплуатационного комплекса

Результаты математического моделирования пилотной установки

№ п/п	Параметр	Единица измерения	Значения
1	2	3	4
1	Результаты		
1.1	Геометрия объекта		
1.1.1	Длина	м	5,39
1.1.2	Количество коридоров	ед.	4
1.1.3	Ширина коридора	м	0,45
1.1.4	Общая ширина	м	1,8
1.1.5	Глубина рабочая	м	0,25
1.1.6	Рабочий объем	м ³	2,45
1.2	Расход		
1.2.1	Поступающие сточные воды	м ³ /сут	1,5
		м ³ /ч	0,0625

Окончание таблицы

1	2	3	4
1.2.2	Объем возвратного ила	м ³ /сут	1,05
		м ³ /ч	0,04375
		%	70
1.2.3	Объем внутреннего рецикла	м ³ /сут	4,5
		м ³ /ч	0,1875
		%	300
1.3	Параметры зон		
1.3.1	Объем зоны нитрификации	м ³	1,76
1.3.2	Объем зоны денитрификации	м ³	0,29
1.3.3	Объем зоны дефосфотации	м ³	0,21
1.3.4	Объем зоны постаэрации	м ³	0,159
1.4	Время гидравлического удерживания		
1.4.1	Зона нитрификации	ч	6
1.4.2	Зона денитрификации	ч	1
1.4.3	Зона дефосфотации	ч	1,5
1.4.4	Зона постаэрации	ч	0
1.4.5	Общее	ч	8,5

Результаты исследования и их обсуждение

При опытно-эксплуатационном моделировании за исходную воду принималась осветленная сточная жидкость, подаваемая из первичного отстойника действующих очистных сооружений в первую зону пилотной

установки. Результаты лабораторных исследований очищенных на пилотной установке сточных вод представлены на рис. 2 и 3. Анализы отбирались каждые сутки в одной и той же точке и в одно время. Данные с датчиков системы мониторинга пилотной установки представлены на рис. 4, 5.

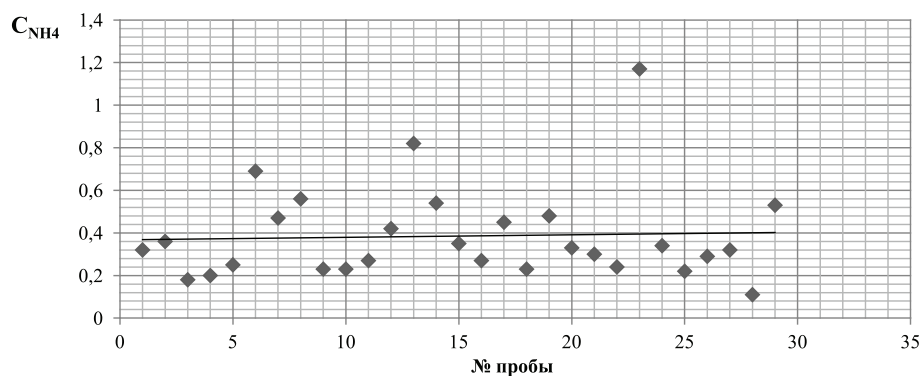


Рис. 2. Результаты измерений аммоний-ионов в очищенных сточных водах, где C_{NH_4} – концентрация ионов аммония, мг/л

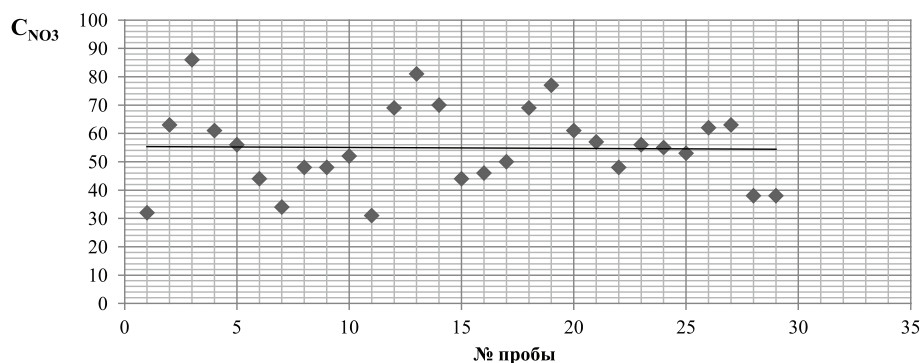


Рис. 3. Результаты измерений нитрат-ионов в очищенных сточных водах, где C_{NO_3} – концентрация нитрат-ионов, мг/л

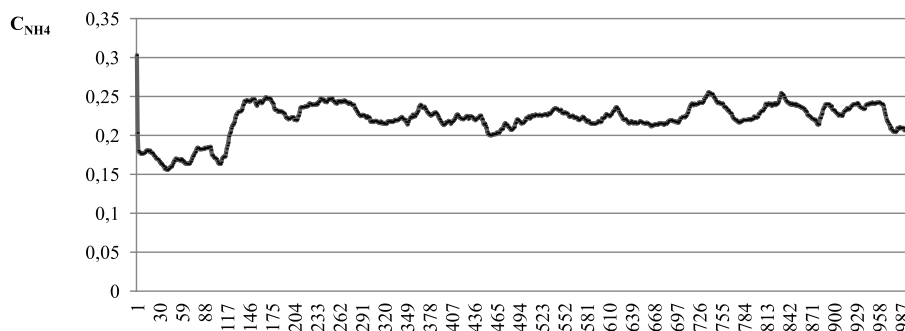


Рис. 4. Результаты измерений аммоний-ионов в иловой смеси, где C_{NH_4} – концентрация ионов аммония, мг/л

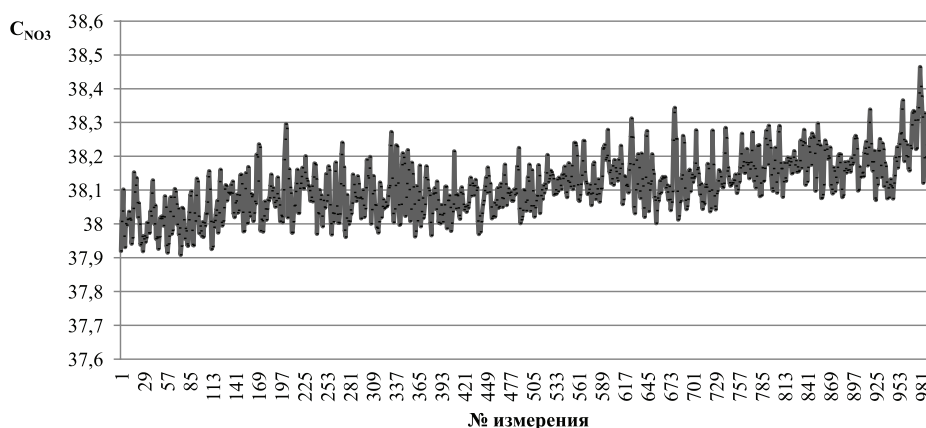


Рис. 5. Результаты измерений нитрат-ионов в иловой смеси, где C_{NO_3} – концентрация нитрат-ионов, мг/л

Проведенные измерения показывают высокую степень протекания процессов нитрификации и денитрификации на пилотной установке, что видно по результатам аналитического контроля как иловой смеси, так и очищенных и осветленных сточных вод после вторичного отстойника. Средняя концентрация аммоний-ионов в очищенных сточных водах составляет 0,38 мг/дм³, нитрат-ионов 54 мг/дм³, что удовлетворяет требованиям на сброс очищенных сточных вод для очистных сооружений города Дзержинска.

Вывод

Проведенные исследования позволяют сделать вывод о целесообразности применения разработанных и верифицированных алгоритмов расчета для проектирования сооружений биологической очистки сточных вод активным илом с приоритетным удалением азотсодержащих соединений, без каких-либо дополнительных поправочных коэффициентов, так как работа пилотной установки в рассчитанном режиме с заданными параметрами геометрии зон, расходов, расположении рециклов показала результаты, удовлетворяющие предъявляемым требованиям к очищенным сточным водам, сбрасываемым в водоем рыбохозяйственного значения.

Список литературы

1. Дегремон. Технический справочник по обработке воды. 2-е изд., в 2. т., пер. с франц. / под ред. М.И. Алексеев. – СПб.: Новый журнал, 2007. – 1696с.
2. Жмур Н.С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками. – М.: АКВАРОС, 2003. – 512 с.
3. Мешенгиссер Ю.М. Ретехнологизация сооружений очистки сточных вод. – М.: ООО «Издательский дом «Вокруг цвета», 2012 – 211 с.
4. Хенце М., Армоэс П., Ля-Кур-Янсен Й., Арман Э. Очистка сточных вод: гер. с англ. – М.: Мир, 2004. – 480 с.
5. Harremoes P., Transient experimentation for process understanding and control. In: Environmental Biotechnology, International Symposium, Oostende, April 21–23, pp. 1–8. Technological Institute, Oostende (1997).
6. Harremoes P., Integrated water and waste management. Water Sci. Technol., 35, (9), 11–20 (1997).

References

1. Degremont. Technical reference book on water processing [Second edition. In 2.t., translation from French. Edited by Alekseeva M.I.] – SPb.: New magazine, 2007. – 1696p.
2. Zhmur N.S. Technological and biochemical processes of wastewater treatment plants with the aeration tanks. – M.: AKVAROS, 2003. – 512 p.
3. Meshengisser Y.M. Retehnologizatsiya facilities for wastewater treatment. – M.: ООО «Publishing House» Around colors», 2012. – 211p.
4. Henze, M., P. Armoes, La Cour Jansen J. Armand E. Wastewater: Trans. from English. – M.: Mir, 2004. – 480 p.
5. Harremoes P., Transient experimentation for process understanding and control. In: Environmental Biotechnology, International Symposium, Oostende, April 21–23, pp. 1–8. Technological Institute, Oostende (1997).
6. Harremoes P., Integrated water and waste management. Water Sci. Technol., 35, (9), 11–20 (1997).