

УДК 628.543

РЕТЕХНОЛОГИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД С ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ МАТЕМАТИЧЕСКИМ И ОПЫТНЫМ МОДЕЛИРОВАНИЕМ

Павлова И.В., Постникова И.Н., Исаков И.В.

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

Объектом исследования является процесс биологической очистки сточных вод, протекающий в аэротенке первой ступени биологической очистки на действующих очистных сооружениях города Дзержинска. В статье приведены методы анализа, использованные в процессе исследования биологической очистки сточных вод на содержание в них растворенного кислорода, аммоний-ионов, нитрат-ионов. В ходе исследования определены содержание растворенного кислорода, аммоний-ионов, нитрат-ионов в различных точках аэротенка, их зависимости от качества, количества поступающих сточных вод и времени пребывания. Получены новые данные по геометрии сооружения и предложены варианты оптимизации работы аэротенков в области увеличения качества очистки с помощью предварительного математического и опытно-эксплуатационного моделирования с использованием зарубежных и отечественных методик. Проведенные исследования позволяют 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: биологическая очистка, аэротенки, математическое моделирование

RETEHNOLOGIZATSIYA PROCESS OF BIOLOGICAL WASTEWATER TREATMENT PRELIMINARY MATHEMATICAL AND EXPERIMENTAL MODELING

Pavlova I.V., Postnikova I.N., Isakov I.V.

*Nizhny Novgorod state technical university named R.E. Alekseeva,
Dzerzhinsk, e-mail: 1924TNV@mail.ru*

The object of research is the process of biological treatment of wastewater flowing into the aeration tank of the first stage of biological treatment at the existing wastewater treatment plant in Dzerzhinsk. The paper presents the methods of analysis used in the study of biological wastewater treatment to determine the concentration of dissolved oxygen, ammonium – ions, nitrate – ions. The study determined the content of dissolved oxygen, ammonium – ions, nitrate – ions at different points in the aeration tank and depending on the quality, the number of incoming wastewater and residence time. New data on the geometry of the structure and variants of optimization of aeration in increasing quality of treatment using mathematical and experimental pre – operational modeling using foreign and domestic techniques that will reduce the costs of design, operation and guarantee the degree of purification in accordance with the requirements and regulations on the discharge of treated wastewater into the reservoir fishery.

Keywords: biological treatment, aeration, and mathematical modeling

Сточная жидкость представляет собой воду, использованную на бытовые, производственные или другие нужды и загрязненную различными примесями, изменившими её первоначальный химический состав и физические свойства. Загрязнена сточная вода элементами химического, минерального и биологического характера, находящимися в растворенном и взвешенном состоянии. Степень загрязнения сточных вод оценивается концентрацией, т.е. массой примесей в единице объема в мг/л или г/м³. Наличие данных компонентов является результатом жизнедеятельности человека и в связи с этим сточные воды можно разделить на несколько типов:

- ✓ хозяйственно-бытовые, собираемые с городских сетей водоотведения, содержащие продукты бытовой деятельности человека;
- ✓ промышленные, сбрасываемые предприятиями различных отраслей народного хозяйства, которые содержат многообразие

загрязняющих веществ как химического, так и биологического происхождения;

- ✓ ливневые, образующиеся в результате выпадения осадков, при таянии снега и льда, от поливки улиц, фонтанов, дренажей с территории промышленных предприятий. В составе ливневых вод много песка, глины, мусора, нефтепродуктов. Они имеют периодический характер, что в целом негативно сказывается на работе очистных сооружений [3].

Каждый тип стоков характеризуется качеством исходной сточной воды и вследствие чего предполагает технологию очистки, в большинстве случаев уникальную для конкретного сооружения. Уникальность её заключается не только в сочетании методов очистки от механических, химических и биологических примесей, но и большим количеством разновидностей данных методов. На действующих очистных сооружениях используют разные технологии, и на

данный момент можно с уверенностью утверждать, что нет в сточной воде компонента, от которого невозможно было бы её очистить. Наиболее интересным с точки зрения экспериментально-исследовательского подхода является биологический метод очистки сточных вод, который минимизирует содержание в стоках большого числа компонентов химического и биологического происхождения. Технологические процессы биологической очистки в зависимости от условий протекания можно разделить на аэробные, анаэробный и аноксидные [3].

Аэробный метод, протекающий с подачей кислорода воздуха, подразумевает использование микроорганизмов, в основном бактерий, активного ила, в качестве биофильтра для преобразования содержащихся в сточных водах органических веществ в простые продукты, в частности, в углекислый газ и дополнительную биомассу.

Активный ил – это искусственно выращенный биоценоз при аэрации антропогенно загрязненных вод, населенных гелепродуцирующими бактериями-гетеротрофами, хемотрофами, простейшими и многоклеточными животными, которые трансформируют загрязняющие вещества и очищают сточные воды в результате бисорбции, биохимического окисления, выедания бактерий и простейших [1]. Главной особенностью

активного ила, как и любого живого организма, является адаптация к различным условиям жизнедеятельности, разному виду подаваемого питания, содержащегося в сточной жидкости и стойкости к воздействию на него токсикантов, которыми могут быть дезинфицирующие вещества, яды, катионы тяжелых металлов и т.д. [4].

Основным моментом в работе систем с активным илом является поддержание его массы во взвешенном состоянии с использованием аэрации или перемешивающих устройств. При отсутствии данных средств активный ил начинает образовывать залежи и гибнуть, что в конечном счете приведет к остановке работы системы биологической очистки. Часть органических и неорганических веществ может подвергаться гидролизу, тогда как другие являются инертными, то есть не разлагаются под действием биомассы [1]. Количество взвешенных веществ в реакторе – аэротенке регулируется с помощью рециркуляции и удаления избыточного ила. Органическое вещество, содержащееся в сточной воде, попав в аэротенк, может покинуть его в виде простого соединения, диоксида углерода, избыточного ила или его количество значительно уменьшится на выходе из реактора.

Условно систему очистки с активным илом можно представить в виде следующей схемы, изображенной на рис. 1.

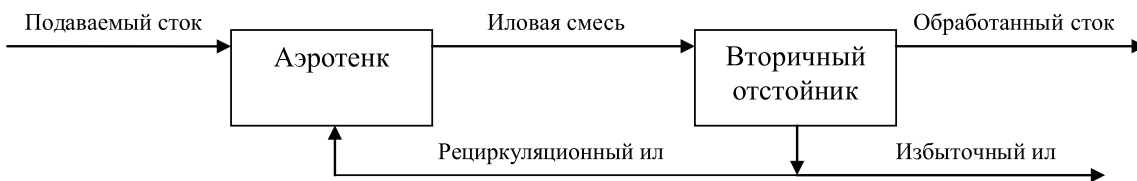


Рис. 1. Принципиальная схема процесса биологической очистки

Главным объектом исследовательской деятельности является аэротенк с различными конфигурациями процессов, протекающих в нем. Рассматривается он как отдельная единица процесса биологической очистки сточных вод с производимым расчетом только на его объем без учета каких-либо вспомогательных элементов. Принимаем, что весь процесс биологического удаления загрязняющих веществ из стоков будет происходить только в аэротенке, без участия доочистки или фильтрации.

Аэротенк представляет собой емкость, предназначенную для проведения процесса биологической очистки, в нем происходит непосредственный контакт сточной жидкости с оптимальным количеством активного ила в присутствии соответствующего количества растворенного кислорода в течение

необходимого периода времени. Из аэротенка выходит смесь воды и ила. Она направляется во вторичный отстойник, где происходит отделение активного ила от очищенной воды. В схеме предусмотрена рециркуляция активного ила. Возврат рециркуляционного ила зависит от его количества в самом аэротенке, поэтому ил может возвращаться в аппарат или в полном объеме, или частично [3].

Практически все сооружения биологической очистки в СССР проектировались по строительным нормам и правилам, принятым несколько десятилетий назад, согласно которым являлось необязательным целенаправленное удаление биогенных элементов из сточных вод, и проект по СНиПам должен был соответствовать сбросу по взвешенным веществам и БПК. При существующих нормативах на сброс очищенных стоков этого

недостаточно, поэтому в настоящее время требуется ретехнологизация процесса очистки сточных вод [2]. Наиболее оптимальными при проектировании очистных сооружений являются формулы и математические модели европейских стран, с корректировкой на российское качество поступающих сточных вод [4]. В связи с новыми экологическими требованиями и нормативами необходимо проектирование сооружений биологической очистки с учетом качества и количества поступающих и очищенных стоков, геометрии сооружений, мощности оборудования и прочих параметров.

Цель исследования: проектирование сооружения биологической очистки с применением процессов удаления биогенных элементов без химических коагулянтов, с учетом энергоэффективности его работы на основе математического моделирования и корректировки модели на опытно-эксплуатационной установке.

Материалы и методы исследования

Основным материалом исследования является иловая смесь в аэротенке. Измерение содержания концентрации растворенного кислорода производилось переносным оксиметром оптического типа HACH LANGE HQ-30D. Содержание аммоний-ионов в иловой смеси определялось 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 иловой смеси производилось 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.

Необходимость использования опытно-эксплуатационной модели вызвана отсутствием точных данных по ряду параметров, являющихся определяющими в процессе проектирования. Вследствие чего данная установка позволит наиболее точно смоделировать все протекающие процессы, изменить, если потребуется, принятые при математическом моделировании коэффициенты, тем самым получить максимально возможную гарантию эффективности работы реконструируемого аэротенка с минимальным количеством ошибок и неточностей. Данный путь является наиболее сложным и длительным, поскольку требует постоянного контроля, корректировки, наблюдения и поддержания условий соответствия модели режимам работы реального сооружения [5].

Результаты исследования и их обсуждение

Произведены исследования работоспособности аэротенков на действующих очистных сооружениях. Тип аэротенков – смесители с регенератором, четырехкоридорные с последовательным распределением сточных вод между вторым и третьим коридором. Схема аэротенка первой ступени биологической очистки сточных вод представлена на рис. 2.

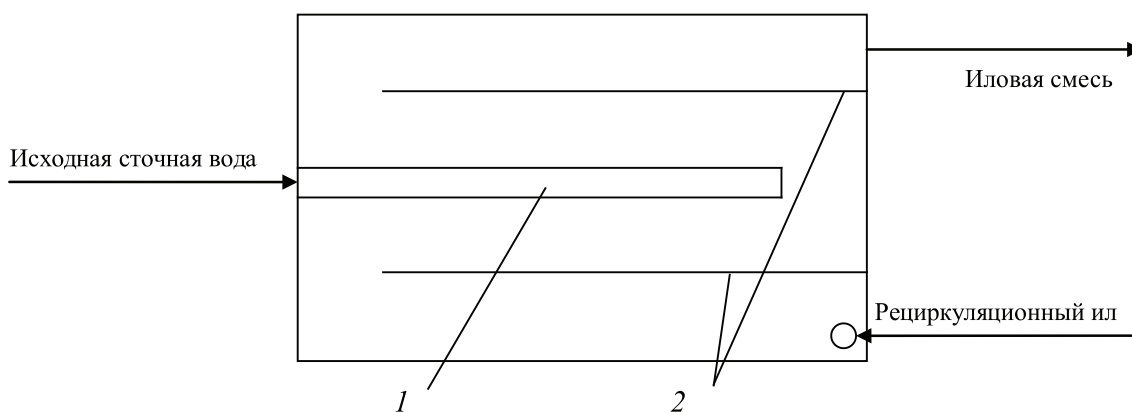


Рис. 2. Общая схема аэротенка:
1 – распределительный лоток; 2 – перегородки

Технология предусматривает ввод активного ила в первый коридор аэротенка. Вывод сточной жидкости из аэротенка осуществляется через переливную перегородку в четвертом коридоре. Исходная сточная жидкость поступает в аэротенк через верхний канал, рассредоточивается через отверстия в распре-

делительном лотке и далее распределяется между всеми работающими секциями. Сбор иловой смеси после очистки на аэротенке осуществляется в нижний канал с дальнейшим движением ее в распределительную камеру вторичных отстойников для разделения активного ила и очищенной воды.

Нами изучено влияние качества поступающих сточных вод, объема подаваемого воздуха и сточных вод на эффективность работы аэротенка, а также получены данные по геометрии сооружений с высотными точками расположения и коммуникациями. Произведены измерения изменения содержания аммоний-ионов, нитратов, растворенного кислорода в поперечном сечении аэротенка. В результате проведенных исследований были выявлены и проанализированы начальные концентрации загрязняющих веществ путем построения математических вероятностей на основе данных за полгода аналитического контроля поступающих сточных вод с последующим усреднением максимально возможных концентраций. С точки зрения экологии и экономики, данный подход является наиболее оптимальным в отличие от простого усреднения ввиду возможных аварийных сбросов, вводящих в среднее значение ошибочный коэффициент, который может увеличивать или уменьшать необходимый параметр. Ре-

зультаты исследования представлены в таблице.

Показатели технологического процесса очистки сточных вод

Показатель	Величина	Единица измерения
БПК	63,58	мг/л
ХПК	323,86	мг/л
Концентрация аммония-иона	32,62	мг/л
Концентрация нитрат-иона	0,43	мг/л
Объем подаваемого воздуха	6428	м ³ /ч
Объем подаваемой сточной воды	19131,7	м ³ /ч

На рис. 3, 4 и 5 представлены результаты предварительных исследований содержания растворенного кислорода, нитратов и аммоний-ионов в сточной воде в различных точках аэротенка.

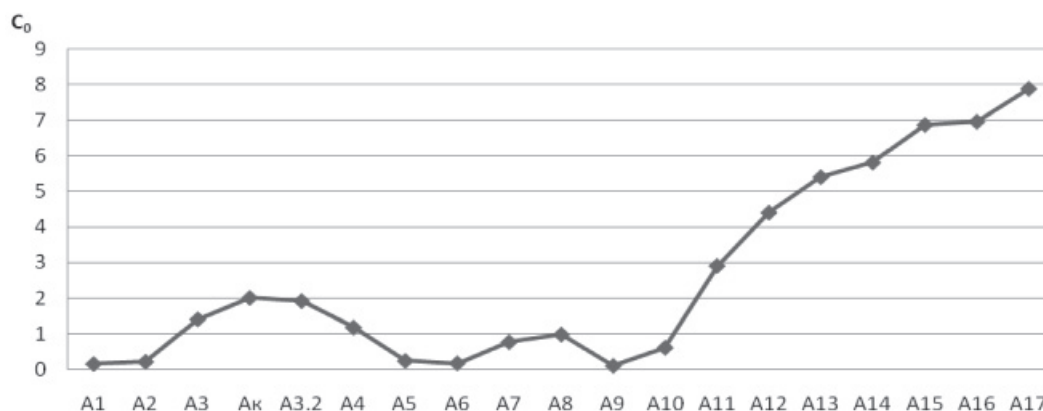


Рис. 3. Изменение концентрации растворенного кислорода по направлению движения сточной воды и активного ила, где C_o – концентрация растворенного кислорода, мг/л; A – точки отбора проб сточной воды в аэротенке

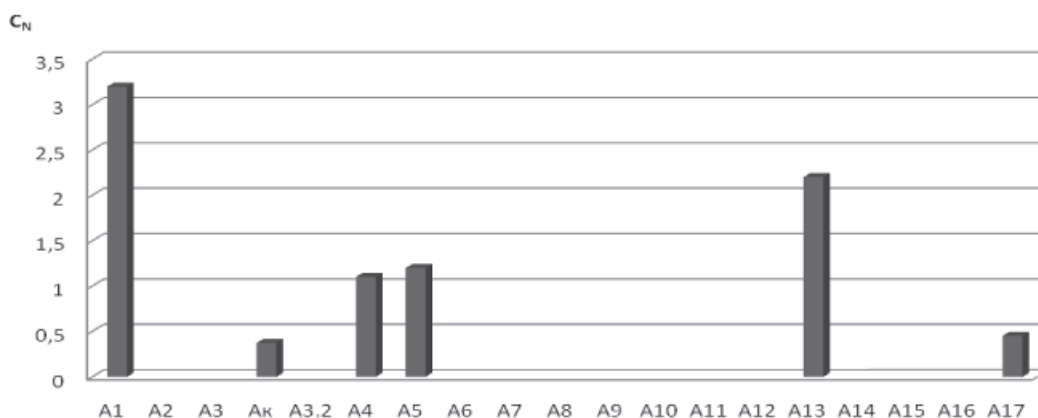


Рис. 4. Изменение концентрации аммоний-ионов по направлению движения сточной воды и активного ила, где C_N – концентрация ионов аммония, мг/л; A – точки отбора проб

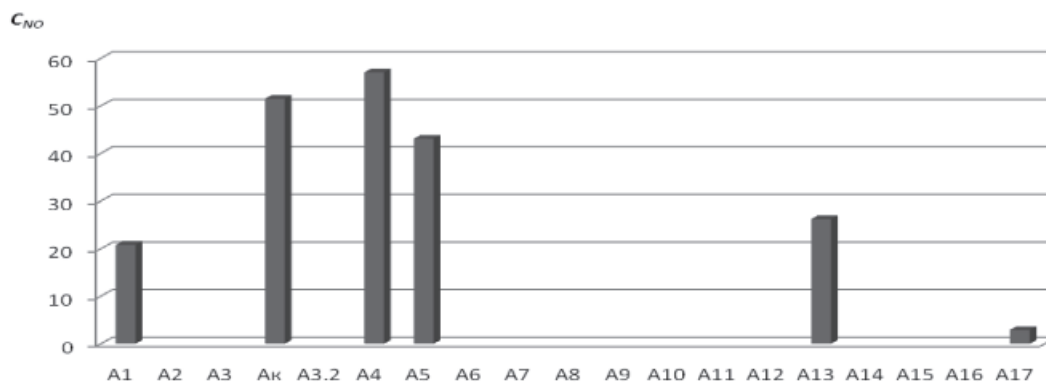


Рис. 5. Изменение концентрации нитрат-ионов по направлению движения сточной воды и активного ила, где C_{NO} – концентрация нитрат-ионов, мг/л; А – точки отбора проб

Оптимизировать процесс биологической очистки стоков достаточно сложно, поэтому условно аэротенк поделили на зоны и исследовали процессы, протекающие в них.

Зона 1 (отбор проб проводился в точках от А1 до Ак) – в зоне протекают процессы доокисления и разложения сложных органических соединений до более простых веществ, поэтому в этой зоне наблюдается снижение ХПК; идет процесс нитрификации и быстрый прирост биомассы организмов активного ила, об этом свидетельствует падение уровня азота аммонийного и увеличение концентрации нитратов в иловой смеси.

Зона 2 (отбор проб проводился в точках А3.2 – А5) характеризуется проникновением части свежих стоков в 1-й коридор и смешением их с иловой смесью. Показателем процесса смешения является незначительный рост нитратов и азота аммонийного. В крайних точках зоны (А4, А5) концентрация аммоний-ионов практически не изменяется.

Зона 3 (отбор проб проводился в точках А5 – А10), в пределах этой зоны происходит частичное смешение двух потоков из 2-го и 3-го коридора. Характеристиками зоны является рост уровня азота аммонийного и минимальное содержание растворенного кислорода, это обусловлено протеканием активного биохимического процесса окисления загрязняющих веществ активным илом.

Зона 4 (отбор проб проводился в точках А11–А12) является продолжением зоны 3, здесь наблюдается затухание активности биохимических процессов и, как следствие, увеличение концентрации растворенного кислорода в иловой смеси.

Зона 5 (отбор проб проводился в точках А13–А17) характеризуется протеканием процесса денитрификации, в иловой смеси уменьшается уровень нитратов. Но вместе с тем в зоне достаточно плохо идут процессы разложения трудноокисляемых веществ, и практически полностью останавливаются процессы размножения организмов, об этом свидетельствует рост содержания азота аммонийного.

Вывод или заключение

Проведенные исследования позволяют сделать вывод о целесообразности усовершенствования технологии очистки сточных вод. Нами были получены оптимальные концентрации загрязняющих веществ с целью расчета допустимых нагрузок при проектировании внутренних рециклов, систем аэрации и зон перемешивания. Первоначально проектные решения необходимо моделировать в математической среде с последующим подтверждением их на опытно-эксплуатационной установке для наилучшей оптимизации процесса биоочистки стоков и реализации на действующих сооружениях.

Список литературы

1. Жмур Н.С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками. – М.: АКВАРОС, 2003. – 512 с.
2. Мешенгиссер Ю.М. Ретехнологизация сооружений очистки сточных вод. – М.: ООО «Издательский дом «Вокруг цвета», 2012. – 211 с.
3. Технический справочник по обработке воды: Дегремон. В 2. т., пер. с французского, (2-е издание) / под ред. М.И. Алексеева, В.Г. Иванова, А.М. Курганова и др. – СПб.: Новый журнал, 2007. – 1696 с.
4. Хенце М., Армоэс П., Ля-Кур-Янсен Й., Арман Э. Очистка сточных вод: пер. с англ. – М.: Мир, 2004. – 480 с.
5. Vesilind P.A. (Editor by.) Wastewater Treatment Plant Design. – Padstow: WEF, IWA Publishing, 2003 – P. 516.

References

1. Zhmur N.S. Technological and biochemical processes of sewage treatment on constructions with aerotanks. M.: AKVAROS, 2003, 512 p.
2. Meshengisser YU.M. Replacement of technologies of wastewater treatment M.: ООО «Publishing house «Around the color», 2012, 211 p.
3. Technical reference book on water processing: Degremon. In 2. t., translation from French, (second edition). Edited by Alekseeva M.I., Ivanova V.G., Kurganova A.M. and others. SPb.: New magazine, 2007, 1696 p.
4. Khentse M., Armojes P., Lya-Kur-Yansen J., Aman Je. Wastewater treatment: translation from English. M.: World, 2004, 480 p.
5. Vesilind P.A. (Editor by.) Wastewater Treatment Plant Design. Padstow.: WEF, IWA Publishing, 2003, pp. 516.

Рецензенты:

Сидягин А.А., д.т.н., профессор кафедры МАХП, ФГБОУ ВПО НГТУ, г. Дзержинск;
Когтев С.Е., д.т.н., профессор, директор по развитию производства ООО «Синтез-ПКЖ», г. Дзержинск.

Работа поступила в редакцию 15.01.2014.