

УДК 628.543

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД С УДАЛЕНИЕМ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО И ОПЫТНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

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

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

Объектом исследования является моделирование системы биологической очистки сточных вод с удалением биогенных элементов безреагентным путем. В статье приведены основные параметры и величины, используемые при проектировании системы биологической очистки стоков, произведен сравнительный анализ и выбор наиболее оптимальной схемы биологической очистки сточных вод. В ходе предпроектных и проектных изысканий получены основные математические зависимости, на основе которых составлена математическая модель. Данная модель позволяет рассчитывать основные параметры системы биологической очистки, проводить оптимизацию процесса биологической очистки сточных вод, с целью уменьшения энергозатрат и улучшения качества очистки сточных вод. По результатам математических и аналитических расчетов предложена конструкция опытно-эксплуатационного комплекса для утверждения или опровержения выдвинутых теорий и предложенных параметров. Проведенные исследования 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: биологическая очистка, математическая модель, эксплуатационный комплекс

DESIGN OF BIOLOGICAL WASTEWATER TREATMENT WITH NUTRIENT REMOVAL ON THE RESULTS OF MATHEMATICS AND DEVELOPMENT-OPERATIONAL SIMULATION

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

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

Object of research is the process of designing biological wastewater treatment with removal of biogenic elements by a reagentless way. The article presents the basic parameters and values used in the design of system of biological cleaning of drains, as well as comparative analysis and selection of the optimal scheme of biological wastewater treatment. During predesign and design researches are received the main mathematical dependences on the basis of which is made the mathematical model. This model allows to count key parameters of system of biological cleaning, to perform optimization of process of biological sewage treatment, for the purpose of reduction of energy consumption and improvement of quality of sewage treatment. According to the results of mathematical and analytical calculations it is offered the construction of an operational complex for approval or disproof of the put forward theories and proposed parameters. The conducted researches will allow to reduce costs of design and operation, also to ensure the degree of purification in accordance with the requirements and standards for the discharge of treated wastewater into the reservoir of fishery appointment.

Keywords: biological treatment, mathematical model, operational complex

Решение о проектировании, с целью строительства, реконструкции или ретехнологизации действующей системы биологической очистки принимается исходя из эффективности ее функционирования и степени доведения системы до оптимального состояния, при котором достигается качество очистки сточных вод, удовлетворяющее требованиям природоохранного законодательства. При проектировании необходимо применять наиболее рациональный подход обеспечения очистки сточных вод экологическим требованиям с учетом энергоэффективности и автоматизации процесса [1]. Инженерные решения при проектировании системы биологической очистки стоков целесообразны к внедрению на всех этапах, от идеи до окончания строительства. Применение современных технологи-

ческих решений позволяет максимально использовать объемы действующих или вновь строящихся сооружений и сырьевые потоки за счет применения высокоэффективного оборудования, аналитико-контрольных систем, с учетом их наиболее целесообразного расположения и алгоритмов управления. Выбор технологического решения в плане использования той или иной последовательности зон и потоков зависит от конкретных условий расположения сооружения, степени его загруженности, качества исходного стока и требований к качеству очистки. Вследствие чего при принятии решения о проектировании или новом строительстве сооружений биологической очистки первым этапом является осмотр и анализ функционирования существующих, при наличии таковых с учетом обоснованного подхода

к капиталовложениям в проектирование или строительство. Подобный подход позволит комплексно рассмотреть сложившуюся проблему и найти наиболее оптимальное решение [2].

Проектирование понимается как определение конфигурации и размеров каждого компонента линии биологической очистки – от входа до выхода. Это может быть создание оригинального проекта в том случае, если станция очистки ранее не существовала, или же модернизация существующей станции, с целью расширения ее возможностей, например, не только удаление БПК и взвешенных веществ из очищаемых стоков, но и удаление повышенного содержания азота и фосфора. Важным элементом проектирования является выбор параметров, характеризующих подлежащий очистке сток. К таким параметрам относятся объем стока и концентрации веществ, содержащихся в нем, и то, и другое можно измерить. Неопределенность возникает при оценке условий, в которых очистным сооружениям предстоит работать. Первым этапом проектирования очистных сооружений является оценка объема очищаемых стоков, по объему выбирают уровень проектирования:

- очень маленькие станции, например, предназначенные для очистки стоков, поступающих из дома, в котором живет одна семья, проектировать не нужно, можно использовать уже готовые проекты станций, подходящих по масштабам.

- небольшие станции, предназначенные для деревень или малых городов, в которых отсутствуют промышленные стоки, можно проектировать на основе хорошо известных правил по нагрузке.

- для более крупных станций, предназначенных для обслуживания городов среднего размера или для обработки промышленных стоков, проектирование должно основываться на известных правилах. Однако было бы разумно проверить проект, проведя компьютерное моделирование предполагаемых нагрузок.

- станции очистки в больших городах необходимо проектировать, и проекты эти проверять с помощью математического и опытно-эксплуатационного моделирования.

Моделирование должно включать анализ чувствительности процесса к различным нагрузкам и параметрам и учитывать возможные изменения. Для выявления возможных проблем необходимо проверять значения параметров и функциональность модели на пилотной установке.

Обычно нагрузка на очистные сооружения характеризуется стандартными параметрами, но если используется математиче-

ское моделирование, то можно проверить модель путем ввода в программу переменных, например, экспериментальные или предполагаемые значения суточных колебаний концентраций или краткосрочных колебаний температуры и концентраций в период дождя [4].

К инструментам проектирования можно отнести стандартные общепринятые, государственно утвержденные и известные алгоритмы, математические модели различных производителей и пилотные установки. Применение первых дает возможность примерно оценить картину функционирования действующего сооружения и необходимость проектирования новых или проводить ретехнологизацию существующих объектов. Математические модели в свою очередь являются мощным инструментом для анализа эксплуатационных характеристик станций очистки воды, понимания причин сбоев в их работе и способов ее улучшения, но вместе с этим обладают рядом существенных недостатков. Следует понимать, что существующие модели содержат много функциональных зависимостей от различных переменных факторов, 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. Ключевой момент состоит в определении цели анализа, на достижение которой должен быть направлен мониторинг, режим управления станцией и дополнительные эксперименты. Простая подгонка модели может не выявить информации, оправдывающей стоимость проекта [5].

Пилотная установка создается и используется исключительно с целью идентифицировать (верифицировать) параметры проектирования. Необходимо идентифицировать, какие параметры действительно важны. Это достаточно трудная задача, поскольку часто период работы пилотной установки невелик, а стоимость эксперимента высока. 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 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, таким образом, определить границы безопасного функционирования полномасштабной станции. 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 [3].

Необходимость и целесообразность использования в качестве определяющего инструмента проектирования пилотной установки связана с комплексным подходом к определению ряда параметров, являющихся принятыми в процессе математического моделирования. Процесс функционирования пилотного комплекса позволяет опытным путем определить необходимые длины зон, объемы или время пребывания сточной жидкости в реакторе с максимальной точностью, без получения конкретной величины принятого параметра, что, в конечном счете, будет не столь важно, поскольку результат от проектирования установки будет получен верный.

Цель исследования:

1. Разработка математической модели, воплощающей в себе процесс проектирования системы биологической очистки сточных вод с удалением биогенных элементов безреагентным путем;

2. Обоснование и расчет необходимых параметров функционирования системы с учетом энергоэффективности и автоматизации процесса;

3. Корректировка модели в реальных условиях.

Материал и методы исследования

Основным материалом исследования является поступающая сточная жидкость, характеризующаяся

объемом и концентрациями загрязняющих веществ. Причем при расчете и проектировании учитывается объединенный поток хозяйственно-бытовых и промышленных сточных вод, поступающих на аэротенки первой ступени биологической очистки. Кроме того, учитываются атмосферные факторы, геометрия действующих сооружений, высотные отметки и рекомендательные параметры качественных и количественных показателей активного ила. Все данные получены в результате лабораторного исследования поступающих на очистку сточных вод, полевого обследования сооружений и измерения их геометрии, уточнения высотных отметок по первоначальной проектной документации.

Результаты исследования и их обсуждения

На основе исследованных литературных данных и рекомендаций по проектированию систем биологической очистки стоков была составлена математическая модель, позволяющая выполнять разные виды расчетов в различных конфигурациях систем биоочистки. Данная модель состоит из нескольких десятков модулей, каждый из которых применяет исходные данные, вводимые в первый модуль, или получаемые результаты вычислений. Модель подразумевает не только расчет системы биологической очистки, но и расчет параметров системы аэрации, перемешивания, распределения зон, рециклов и т. д. Модель использует два алгоритма расчета системы биологической очистки без какого-либо применения к той или иной технологической последовательности. Первый алгоритм подразумевает полный расчет всех вспомогательных и основных величин и параметров, на основе которых и определяется объем зоны или их длина в сечении аэротенка. Второй подход предполагает применение рекомендательных данных времени гидравлического удерживания сточных вод в каждой зоне, объемов рециклов и, как следствие, позволяет получить объем или длину зоны. Каждый из этих подходов является теоретическим, не подразумевающим изменение приводимых в качестве констант величин. Это и является существенным недостатком практически любой модели, насколько совершенна она бы не была. Отсутствие опыта в качестве компонента проектирования является причиной многих ошибок, поэтому созданная модель требует корректировки с учетом опытных данных, получение которых является достаточно трудоемким, а в некоторых случаях и практически нецелесообразным, поскольку при изменении качества сточных вод изменяются и исследуемые коэффициенты.

В последнее время технологии совместного биологического удаления из сточных вод азота и фосфора внедряются все чаще,

в их основе лежит трехстадийный процесс Форедокс (A2/O). A/O-процесс является обычной системой возврата активного ила. Возвратный ил перекачивается из вторичного отстойника в анаэробную зону. В процессе A2/O к конфигурации A/O – процесса после анаэробной зоны добавляют аноксидную зону, чтобы достичь процесса

денитрификации. Идеи Форедокс-процесса используются во многих схемах совместного биологического удаления из сточных вод азота и фосфора, поэтому в качестве модели, заключающейся в определенном расположении зон, рециклов, подачи сточных вод была выбрана схема A2/O. Схема представлена на рис. 1.

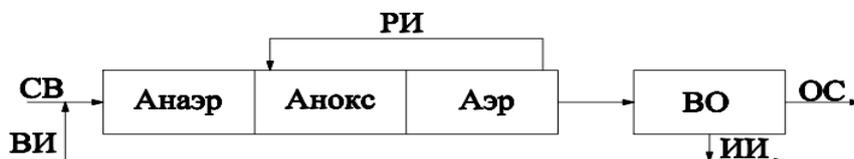


Рис. 1. Схема A2/O-процесса: СВ – сточные воды, Анаэр – анаэробная зона, Аэр – аэробная зона, Анокс – аноксидная зона, ВО – вторичный отстойник, ВИ – возвратный активный ил, ИИ – избыточный активный ил, ОС – очищенные сточные воды, РИ – рецикл иловой смеси

Данная схема была введена в математическую модель. Геометрия зон, объемы рециклов возвратного ила, сточных вод были рассчитаны с учетом принятых коэффициентов. Далее по известным размерам зон было рассчитано и подобрано необходимое количество мешалок и аэраторов. По существующим программным продуктам определили необходимое количество воз-

духа для аэрации аэробных зон и зон запаса мощности, выполняющих функцию резерва, и, предохраняющих систему от колебаний. В результате полученных данных была составлена схема конфигурации аэротенка с указанием зон, расположения вспомогательного оборудования и точек ввода веществ. Данная схема представлена на рис. 2.

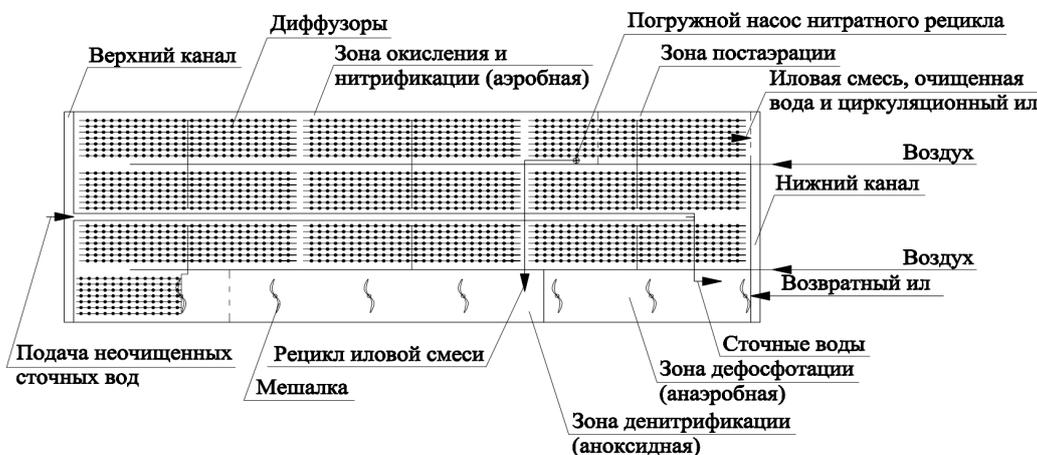


Рис. 2. Схема аэротенка после ретехнологизации

Предложенная конфигурация аэротенка является только лишь одним из вариантов решения вопроса интенсификации биочистки, так как константные параметры, принятые при проектировании, необходимо подтвердить расчетами и работой пилотной установки.

Для апробации объекта было принято решение о создании опытно-эксплуатационного комплекса. Моделирование комплекса было произведено с помощью математической модели и графических

инструментов. Данный комплекс представляет собой модель аэротенка в масштабе 1:20 с полным соответствием всех коридоров, перегородок зон и прочего оборудования. Комплекс предусматривает расположение вторичного отстойника, для разделения иловой смеси и водосборной камеры для отвода очищенных сточных вод. Опытно-эксплуатационный комплекс позволил обосновать ранее принятые константные параметры, результаты расчетов представлены в таблице.

Результаты расчетов опытно-эксплуатационного комплекса биоочистки стоков

| Параметры сточных вод | Величина |
|---|-------------|
| Аммоний-ион в неочищенной сточной жидкости, мг/л | 32,62 |
| Аммоний-ион в очищенной сточной жидкости, мг/л | 0,5 |
| БПК в неочищенной сточной жидкости, мгО ₂ /л | 63,58 |
| БПК в очищенной сточной жидкости, мгО ₂ /л | 2 |
| ХПК общее в неочищенной сточной жидкости, мгО ₂ /л | 323,86 |
| ХПК (S) в неочищенной сточной жидкости, мг О ₂ /л | 38,53934 |
| Фосфаты по Р в неочищенной сточной жидкости, мг/л | 3,8 |
| Температура поступающей сточной жидкости, °С | 20 |
| Геометрия аэротенка | |
| Количество коридоров | 4 |
| Ширина аэротенка, м | 1,8 |
| Длина аэротенка, м | 5,39 |
| Рабочая глубина аэротенка, м | 0,25 |
| Объем секции аэротенка, м ³ | 2,4255 |
| Расчетные параметры | |
| Нагрузка на ил по БПК, кг БПК/кг(взв. веществ) ·сут | 0,009829932 |
| Объем внутреннего рецикла, м ³ /сут | 4,5 |
| Объем возвратного ила, м ³ /сут | 1,05 |
| Максимально допустимый объем сточных вод, м ³ /сут | 1,5 |
| Объем стоков на секцию, м ³ /сут | 1,5 |
| Возможное количество удаляемых фосфатов, мг/л | 3,52 |
| Время гидравлического удерживания | |
| нитрификация, ч | 6 |
| денитрификация, ч | 1 |
| дефосфотация, ч | 2 |
| постаэрации, ч | 1,5 |
| общее, ч | 10,5 |
| Длины зон в профиле аэротенка | |
| Зона нитрификации, м | 15,6 |
| Зона денитрификации, м | 2,6 |
| Зона дефосфотации, м | 1,8 |
| Зона постаэрации, м | 1,4 |
| Общая длина, м | 21,4 |

Вывод

Проведенные исследования позволят оценить возможность ретехнологизации аэротенков, смоделировать процессы очистки сточных вод, скорректировать зоны, точки ввода исходной сточной жидкости, иловой смеси, возвратного ила, количества подаваемого воздуха, мешалок и т.д. Использование пилотной установки позволит исключить ошибки при проектировании и, как следствие, сэкономить средства, возможно, потраченные на ретехнологизацию.

Список литературы

1. Мешенгиссер Ю.М. Ретехнологизация сооружений очистки сточных вод. – М.: Издательский дом «Вокруг цвета», 2012. – 211 с.
2. Дегремон В. Технический справочник по обработке воды. 2-е изд., 2. т., пер. с франц. [под ред. М.И. Алексеева]. – СПб.: Новый журнал, 2007. – 1696 с.
3. Хенце М., Армозс П., Ля-Кур-Янсен Й., Арман Э. Очистка сточных вод. Пер. сангл. – М.: Мир, 2004. – 480 с.
4. Design Manual Fine Pore Aeration Systems, US EPA, EPA/625/1-89/023, 1989.– 305 p.

5. HenzeM.,Gujer W., Mino T., Loosdrecht M. Activated sludge models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3 – London.: IWA Publishing, 2000. – 122 p.

References

1. Meshengisser YU.M. Replacement of technologies of wastewater treatment – M.:Publishing house «Around the color», 2012. –211 p.
2. DegremonV. Technical reference book on water processing [Second edition. In 2.t., translation from French. Edited by Alekseeva M.I.] – SPb.: New magazine, 2007. –1696 p.
3. Khentse M., Armojes P., Lya-Kur-Yansen J., Arman Je. Wastewater treatment. Translation from English. – M.: World, 2004. – 480 p.
4. Design Manual Fine Pore Aeration Systems, US EPA, EPA/625/1-89/023, 1989.– 305 p.
5. HenzeM.,Gujer W., Mino T., Loosdrecht M. Activated sludge models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3 – London.: IWA Publishing, 2000. – 122 p.

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 24.06.2014.