

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **043420**(13) **B1**(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2023.05.24**

(21) Номер заявки  
**202192196**

(22) Дата подачи заявки  
**2020.10.27**

(51) Int. Cl. **C02F 3/30** (2006.01)  
**C02F 101/16** (2006.01)  
**C02F 101/30** (2006.01)

---

(54) **ДВУХСТУПЕНЧАТАЯ СИСТЕМА ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД С ПОМОЩЬЮ АНОКСИДНО-АЭРОБНЫХ БИОПЛЕНОК С РЕГУЛИРУЕМЫМИ ЗОНАМИ РЕАКЦИИ**

---

(31) **202010376383.8**

(32) **2020.05.07**

(33) **CN**

(43) **2022.05.17**

(86) **PCT/CN2020/124103**

(87) **WO 2021/223378 2021.11.11**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:

**ЦИНДАО ЮНИВЕРСИТИ ОФ  
ТЕКНОЛОДЖИ (CN)**

(72) Изобретатель:

**Би Сюэцзюнь, Чжоу Сяолин, Фань  
Син, Ван Сяодун, Чэнь Шаньшань  
(CN)**

(74) Представитель:

**Носырева Е.Л. (RU)**

(56) CN-A-111533259  
CN-A-105152330  
CN-A-105016467  
CN-A-108178464  
CN-A-109354191  
CN-A-110078303  
US-A1-2004222150

(57) Настоящее изобретение раскрывает двухступенчатую систему очистки сточных вод с помощью аноксидно-аэробных биопленок с регулируемыми зонами реакции. Двухступенчатая система очистки сточных вод с помощью аноксидно-аэробных биопленок с регулируемыми зонами реакции содержит А/О блок первой ступени и А/О блок второй ступени, которые последовательно соединены, при этом А/О блок первой ступени содержит первый аноксидный реактор, второй аноксидно-аэробный реактор, третий аэробный реактор, четвертый аэробный реактор и пятый аэробный реактор, которые последовательно соединены; и А/О блок второй ступени содержит шестой аноксидный реактор, седьмой аноксидный реактор и восьмой аэробный реактор, которые последовательно соединены. Посредством организации преднитрификации и постденитрификации система не только улучшает эффективность использования источника углерода во входящем потоке и эффективность удаления азота, но также эффективно управляет способностью системы удалять азот согласно требованиям относительно очистки путем точного управления добавлением внешнего источника углерода при удалении азота путем постденитрификации, что тем самым улучшает экономическую эффективность и стабильность удаления азота при очистке сточных вод. Также система может применяться для очистки сточных вод с учетом строгих требований стандартов сброса сточных вод и позволяет осуществлять автоматические регулирование и управление в отношении областей реакции и условий реакции.

**B1****043420****043420****B1**

### Область техники

Настоящее изобретение относится к системе для очистки сточных вод посредством аноксидно-аэробных биопленок и относится к области техники очистки сточных вод.

### Уровень техники

Традиционный A<sup>2</sup>/O процесс, в котором в основном используется активный ил и процесс его деформации, вряд ли сможет удовлетворить все более строгие требования стандартов сброса очищенных сточных вод на станциях очистки сточных вод (WWTP). Традиционный процесс удаления азота сталкивается с еще более серьезными проблемами в аспектах показателей качества воды, связанных с азотными элементами. Чтобы улучшить эффективность удаления азота из городских сточных вод, традиционная система активного ила, в которой используются одноступенчатые или многоступенчатые аноксидно-аэробные (A/O) процессы, требует гораздо большего возраста ила и теоретического времени гидравлического удержания для обеспечения величины биомассы удаления азота в активном иле, который в то же время требует более высокого уровня растворенного кислорода за счет увеличения потока воздуха для поддержания активности нитробактерий. Поэтому обычно необходимы более крупные биохимические реакторы, хотя они требуют больших капиталовложений на общестроительные работы. Более того, эксплуатационные расходы с точки зрения энергопотребления высоки, поскольку в резервуар аэрации необходимо транспортировать большее количество воздуха, что противоречит действиям по экологической безопасности производства и экологической жизни.

Система активного ила с одноступенчатыми или многоступенчатыми A/O процессами будет подвергать активный ил воздействию аноксидно-аэробной среды поочередно, что не подходит для культивирования бактерий с определенными функциями. Кроме того, эффективность нитрификации традиционной одно- или многоступенчатой системы активного ила ограничена при низкой температуре, которая также является узким местом для применения традиционной системы активного ила. Поэтому срочно необходима эффективная технология биологического удаления азота из городских сточных вод, способная удовлетворить требования более высокого качества воды.

Поэтому срочно необходима экономичная и эффективная технология очистки путем биологического удаления азота для городских сточных вод.

### Сущность изобретения

Для соответствия требованиям технологии эффективного удаления азота для очистки городских сточных вод и повышения экономической эффективности очистки сточных вод настоящее изобретение предоставляет двухступенчатую систему очистки сточных вод с помощью аноксидно-аэробных биопленок с регулируемыми зонами реакции. Путем осуществления автоматического управления и регулировки в отношении областей реакции и рабочих условий, экономическая эффективность очистки сточных вод в разные сезоны может быть максимизирована.

В двухступенчатой системе очистки сточных вод с помощью аноксидно-аэробных биопленок с регулируемыми зонами реакции согласно настоящему изобретению применено следующее техническое решение.

Система содержит A/O блок первой ступени и A/O блок второй ступени, которые последовательно соединены. A/O блок первой ступени содержит первый аноксидный реактор, второй аноксидно-аэробный реактор, третий аэробный реактор, четвертый аэробный реактор и пятый аэробный реактор, которые последовательно соединены. A/O блок второй ступени содержит шестой аноксидный реактор, седьмой аноксидный реактор и восьмой аэробный реактор, которые последовательно соединены. Каждый из реакторов заполнен взвешенными носителями биопленок. Перемешивающее устройство размещено в каждом из первого аноксидного реактора, шестого аноксидного реактора, седьмого аноксидного реактора и второго аноксидно-аэробного реактора. Аэрационное устройство размещено в каждом из третьего аэробного реактора, четвертого аэробного реактора, пятого аэробного реактора, восьмого аэробного реактора и второго аноксидно-аэробного реактора.

Значения степени заполнения взвешенными носителями биопленок являются следующими: степень заполнения в каждом из первого аноксидного реактора, шестого аноксидного реактора и седьмого аноксидного реактора не превышает 45%, степень заполнения в каждом из второго аноксидно-аэробного реактора и пятого аэробного реактора не превышает 40%, и степень заполнения в каждом из третьего аэробного реактора, четвертого аэробного реактора и восьмого аэробного реактора не превышает 55%.

Перемешивающее устройство представляет собой спиральную или гиперболоидную мешалку, причем потребляемая мощность при перемешивании составляет не менее 25 Вт/м<sup>3</sup>.

В аэрационном устройстве применена перфорированная труба, размещенная на одной стороне для аэрации, и аэрационный расход в просвете каждого из аэрационных отверстий на перфорированной трубе составляет 1,60-1,75 м<sup>3</sup>/ч.

Задерживающая сетка для взвешенных носителей биопленок выходящего потока размещена в каждом из реакторов, максимальная скорость потока при фильтрации задерживающей сетки не превышает 60 м/ч, живое сечение задерживающей сетки не превышает 60%, и размер ячейки задерживающей сетки составляет 60% диаметра взвешенных носителей биопленок.

Конец для входящего потока A/O блока первой ступени оборудован прибором для анализа скорости

потока в режиме реального времени и прибором для анализа ХПК (химического потребления кислорода) в режиме реального времени; выпускной конец первого аноксидного реактора оборудован прибором для анализа нитратного азота в режиме реального времени; и выпускной конец пятого аэробного реактора оборудован прибором для анализа аммиачного азота в режиме реального времени, прибором для анализа нитратного азота в режиме реального времени и прибором для анализа растворенного кислорода в режиме реального времени.

Управление и регулировка в отношении второго аноксидно-аэробного реактора осуществляются согласно следующему процессу:

в состоянии, в котором запущено перемешивание и остановлена аэрация, второй аноксидно-аэробный реактор используется как аноксидный реактор денитрификации для удаления азота путем денитрификации; когда концентрация нитратного азота в отходящей воде первого аноксидного реактора меньше заданного значения  $C_1$  или равняется ему, и время обслуживания превышает заданное значение  $T_1$ , второй аноксидно-аэробный реактор автоматически останавливает перемешивание, и запускает аэрацию, и переключается из аноксидного состояния в аэробное состояние, и второй аноксидно-аэробный реактор используется как аэробный реактор для обеспечения деградации органических веществ; и, когда концентрация нитратного азота в отходящей воде первого аноксидного реактора превышает заданное значение  $C_1$ , и время обслуживания превышает заданное значение  $T_2$ , второй аноксидно-аэробный реактор останавливает аэрацию, и запускает перемешивание, и переключается из аэробного состояния в аноксидное состояние.

Пятый аэробный реактор подвергается регулировке аэрации согласно следующему процессу:

когда концентрация аммиачного азота на выпускном конце пятого аэробного реактора превышает заданное значение  $C_2$  или равняется ему, аэрационный расход повышается до тех пор, пока уровень растворенного кислорода не достигнет 6-8 мг/л и не останется в этом диапазоне; и, когда концентрация аммиачного азота на выпускном конце пятого аэробного реактора меньше заданного значения  $C_3$  ( $C_3 < C_2$ ) или равняется ему, аэрационный расход постепенно снижается до тех пор, пока концентрация аммиачного азота в отходящей воде не станет выше заданного значения  $C_3$ , но ниже заданного значения  $C_2$ , и управление минимальным аэрационным расходом осуществляется так, чтобы он составлял  $10 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ .

Насос обратного потока жидкости нитрификации размещен между пятым аэробным реактором и первым аноксидным реактором и приспособлен для обеспечения обратного потока выходящей жидкости нитрификации пятого аэробного реактора в первый аноксидный реактор посредством трубы (канала). Общая величина ХПК, соответствующая кислороду, поступающему в первый аноксидный реактор, получена путем отслеживания в режиме реального времени величины входящего потока первого аноксидного реактора и концентрации ХПК во входящем потоке, общая величина нитратного азота, который должен поступать в первый аноксидный реактор, определена согласно заданному значению  $\theta_1$  соотношения углерода и азота (C/N), и величина обратного потока дополнительно определена согласно концентрации нитратного азота в отходящей воде пятого аэробного реактора. В этот момент значение коэффициента обратного потока задано в 200%, если коэффициент обратного потока превышает 200%, и значение коэффициента обратного потока задано в 50%, если коэффициент обратного потока меньше 50%.

Устройство добавления источника углерода размещено в шестом аноксидном реакторе, общая величина нитрата, поступающего в шестой аноксидный реактор, вычислена согласно концентрации нитратного азота в отходящей воде пятого аэробного реактора, и объем источника углерода, который должен быть добавлен, определен согласно заданному значению  $\theta_2$  соотношения углерода и азота (C/N).

В каждом из реакторов используется цилиндрическое или прямоугольное тело резервуара с рабочей глубиной 4-10 м, где соотношение диаметра и глубины цилиндрического тела резервуара составляет от 2:1 до 0,5:1, соотношение длины и ширины прямоугольного тела резервуара составляет от 0,5:1 до 1,5:1, и максимальная скорость потока в каждом поперечном сечении не превышает 35 м/ч.

Каждый из реакторов оборудован устройством распределения входящего потока и устройством сбора отходящей воды, причем устройство распределения входящего потока принимает воду посредством сливного отверстия на своей верхней части или имеет погружную конструкцию, которая принимает воду из нижней части боковой поверхности реактора, и, соответственно, устройство сбора отходящей воды собирает воду рядом с нижней частью или верхней частью боковой поверхности реактора за задерживающей сеткой, и режим входящего потока и выпуска каждого из реакторов представляет собой режим входа в верхней части, а выхода в нижней части или входа в нижней части, а выхода в верхней части, и управление состоянием гидравлического потока осуществляется так, чтобы предотвратить пропускание в реакторе.

В А/О блоке первой ступени первый аноксидный реактор представляет собой аноксидную зону предденитрификации, и электронодонорные матрицы, обеспеченные источником углерода органических веществ во входящем потоке, используются для удаления нитратного азота путем денитрификации. В этом процессе осуществляется обратный поток нитратного азота, содержащегося в выходящем потоке, из пятого аэробного реактора в первый аноксидный реактор. Второй аноксидно-аэробный реактор используется как аноксидная зона регулировки денитрификации/аэробная зона регулировки деградации орга-

нических веществ. В аноксидном состоянии электронодонорные матрицы, обеспеченные источником углерода органических веществ во входящем потоке, используются для удаления нитратного азота путем денитрификации и обеспечивают достаточную и полную реакцию предденитрификации как дополнение к первому аноксидному реактору. В аэробном состоянии второй аноксидно-аэробный реактор используется как аэробная зона деградации органических веществ для обеспечения деградации органических веществ в сточной воде, поступающей во второй аноксидно-аэробный реактор, чтобы обеспечить то, что последующая аэробная зона реакции будет находиться в состоянии низкой органической нагрузки. Когда второй аноксидно-аэробный реактор находится в аноксидном состоянии, третий аэробный реактор используется как аэробная зона деградации органических веществ для обеспечения деградации органических веществ в сточной воде, поступающей в третий аэробный реактор, чтобы обеспечить то, что последующая аэробная зона реакции будет находиться в состоянии низкой органической нагрузки. Когда второй аноксидно-аэробный реактор находится в аэробном состоянии, третий аэробный реактор используется как аэробная зона реакции деградации органических веществ и нитрификации для удаления органических веществ, органического азота и аммиачного азота, поступающих в третий аэробный реактор. Четвертый аэробный реактор используется как аэробная зона реакции нитрификации для удаления органического азота и аммиачного азота, поступающих в четвертый аэробный реактор. Пятый аэробный реактор используется как аэробная зона реакции нитрификации, способная управлять уровнем растворенного кислорода посредством регулировки аэрации, и используется как дополнение к четвертому реактору для обеспечения достаточной и полной реакции нитрификации.

В А/О блоке второй ступени шестой аноксидный реактор и седьмой аноксидный реактор используются как зона постденитрификации, добавленный внешний источник углерода используется как электронодонорная матрица денитрификации для удаления нитратного азота путем денитрификации. В этом процессе реакции согласно критерию выброса общего азота для окончательно очищенной отходящей воды, управление величиной удаления нитратного азота осуществляется путем регулировки объема внешнего источника углерода, который должен быть добавлен. Восьмой аэробный реактор используется для обеспечения деградации и удаления остаточных органических веществ в выходящем потоке из седьмого аноксидного реактора, а также используется как дополнение к реакции нитрификации А/О блока первой ступени, чтобы обеспечить управление окончательно отходящей водой согласно проектным требованиям так, чтобы органические вещества, общий азот, аммиачный азот и т. п. соответствовали требованиям относительно показателя качества воды.

Рабочий процесс очистки сточных вод системы является следующим.

Применяется рабочий режим постоянного потока. Предварительно очищенная сточная вода поднимается для последующего поступления в первый аноксидный реактор, второй аноксидно-аэробный реактор, третий аэробный реактор, четвертый аэробный реактор и пятый аэробный реактор А/О блока первой ступени и шестой аноксидный реактор, седьмой аноксидный реактор и восьмой аэробный реактор А/О блока второй ступени для получения в конце отходящей воды посредством осветления и отделения иловой воды.

Настоящее изобретение имеет следующие преимущественные характеристики.

(1) Для соответствия строгим требованиям стандартов сброса сточных вод посредством организации предденитрификации и постденитрификации настоящее изобретение не только улучшает эффективность использования источника углерода во входящем потоке и эффективность удаления азота, но также эффективно управляет способностью системы удалять азот согласно требованиям относительно очистки путем точного управления добавлением внешнего источника углерода при удалении азота путем постденитрификации, что тем самым улучшает экономическую эффективность и стабильность удаления азота при очистке сточных вод.

(2) Управление и регулировка в отношении областей реакции и рабочих условий могут осуществляться автоматически. Таким образом, экономически эффективная очистка сточных вод может быть реализована путем регулировки функций некоторых реакторов и управления растворенным кислородом в условиях колебания качества воды, количества воды и температуры воды.

(3) Последовательное соединение реакторов позволяет оптимизировать распределение органической нагрузки и нагрузки аммиачного азота в пространстве, обеспечивая благоприятные условия для эффективного удаления органических веществ и нитрификации в системе.

(4) При использовании биопленок вместо активного ила концентрации взвешенных веществ (SS) в отходящей воде двух ступеней А/О блоков реакции составляют всего лишь 50-200 мг/л, микробный выход биопленок и выход ила в системе значительно снижаются, а традиционная технология пленочной фильтрации с помощью MBR (мембранного биореактора) и вторичного отстойного резервуара, применяемая способом активного ила, может быть заменена эффективными технологиями осветления и отделения иловой воды, такими как резервуар пневматической флотации, отстойный резервуар высокой плотности, отделение путем магнитной флокуляции, сетчатая фильтрация и многослойная фильтрация.

(5) Настоящее изобретение устраняет узкое место, заключающееся в том, что производительность нитрификации традиционной одно- или многоступенчатой системы активного ила ограничивается при низкой температуре, и решает проблему, заключающуюся в том, что низкое соотношение углерода и азо-

та во входящем потоке не может удовлетворить требованиям биологического удаления азота.

(6) Настоящее изобретение решает проблемы длительного теоретического времени гидравлического удержания, требуемого в случае существующего  $A^2/O$  процесса, в котором в основном используется взвешенный растущий активный ил, а также больших капиталовложений на общестроительные работы и высоких эксплуатационных расходов с точки зрения энергопотребления в результате высокого коэффициента обратного потока ила относительно жидкости нитрификации.

#### **Краткое описание графических материалов**

Чертеж - схематическое изображение системы очистки сточных вод, в которой используется двухступенчатый аноксидно-аэробный процесс, объединяющий био пленку в зонах реакции согласно настоящему изобретению.

На графических материалах 1 обозначает первый аноксидный реактор, 2 обозначает второй аноксидно-аэробный реактор, 3 обозначает третий аэробный реактор, 4 обозначает четвертый аэробный реактор, 5 обозначает пятый аэробный реактор, 6 обозначает шестой аноксидный реактор, 7 обозначает седьмой аноксидный реактор, 8 обозначает восьмой аэробный реактор, 9 обозначает блок осветления и отделения иловой воды, 10 обозначает взвешенный носитель био пленок, 11 обозначает перемешивающее устройство, 12 обозначает аэрационное устройство, 13 обозначает задерживающую сетку для взвешенных носителей био пленок, 14 обозначает устройство добавления источника углерода, 15 обозначает насос обратного потока жидкости нитрификации, 16 обозначает контроллер, 17 обозначает контроллер, 18 обозначает контроллер, и 19 обозначает контроллер.

#### **Подробное описание изобретения**

Как показано на чертеже, двухступенчатая система очистки сточных вод с помощью аноксидно-аэробных био пленок с регулируемыми зонами реакции согласно настоящему изобретению содержит А/О блок первой ступени, А/О блок второй ступени и блок 9 осветления и отделения иловой воды, которые последовательно соединены.

А/О блок первой ступени содержит первый аноксидный реактор 1, второй аноксидно-аэробный реактор 2, третий аэробный реактор 3, четвертый аэробный реактор 4 и пятый аэробный реактор 5, которые последовательно соединены. А/О блок второй ступени содержит шестой аноксидный реактор 6, седьмой аноксидный реактор 7 и восьмой аэробный реактор 8, которые последовательно соединены. В каждом из реакторов (1-8) используется цилиндрическое или прямоугольное тело резервуара с рабочей глубиной 4-10 м, где соотношение диаметра и глубины цилиндрического тела резервуара составляет от 2:1 до 0,5:1, соотношение длины и ширины прямоугольного тела резервуара составляет от 0,5:1 до 1,5:1, и максимальная скорость потока в каждом поперечном сечении не превышает 35 м/ч.

Каждый из реакторов (1-8) оборудован устройством распределения входящего потока и устройством сбора отходящей воды, причем устройство распределения входящего потока принимает воду посредством сливного отверстия на своей верхней части или имеет погружную конструкцию, которая принимает воду из нижней части боковой поверхности реактора, и, соответственно, устройство сбора отходящей воды собирает воду рядом с нижней частью или верхней частью боковой поверхности реактора за задерживающей сеткой, и режим входящего потока и выпуска каждого из реакторов представляет собой режим входа в верхней части, а выхода в нижней части или входа в нижней части, а выхода в верхней части, и управление состоянием гидравлического потока осуществляется так, чтобы предотвратить проskalывание в реакторе.

Каждый из реакторов (1-8) заполнен взвешенными носителями 10 био пленок. Степень заполнения в каждом из первого, шестого и седьмого аноксидных реакторов (1, 2 и 7) не превышает 45%, степень заполнения в каждом из второго аноксидно-аэробного реактора 2 и пятого аэробного реактора 5 не превышает 40%, и степень заполнения в каждом из третьего, четвертого и восьмого аэробных реакторов (3, 4 и 8) не превышает 55%.

Перемешивающее устройство 11 размещено в каждом из первого, шестого и седьмого аноксидных реакторов (1, 6 и 7) и второго аноксидно-аэробного реактора 2. Перемешивающее устройство 11 представляет собой спиральную или гиперболоидную мешалку, причем потребляемая мощность при перемешивании составляет не менее 25 Вт/м<sup>3</sup>.

Аэрационное устройство 12 размещено в каждом из третьего, четвертого, пятого и восьмого аэробных реакторов (3, 4, 5 и 8) и второго аноксидно-аэробного реактора 2. В аэрационном устройстве 12 применена перфорированная труба, размещенная на одной стороне для аэрации, причем перфорированная труба размещена на 2/3 площади нижней части резервуара рядом с выпускным концом и имеет более плотное распределение аэрационных отверстий рядом с выпускным концом, причем аэрационные отверстия имеют диаметр 3-6 мм, и аэрационный расход аэрационного отверстия составляет 1,60-1,75 м<sup>3</sup>/ч. Горизонтальная погрешность установки перфорированной трубы не превышает 6,5 мм.

Задерживающая сетка 13 для взвешенных носителей био пленок выходящего потока размещена в каждом из реакторов (1-8), максимальная скорость потока при фильтрации задерживающей сетки не превышает 60 м/ч, живое сечение задерживающей сетки не превышает 60%, и размер ячейки задерживающей сетки составляет 60% диаметра взвешенных носителей био пленок. Задерживающая сетка 13 может представлять собой вертикальную или горизонтальную цилиндрическую сетку. Когда используется вер-

тикальная сетка, сторона с отверстиями сетки находится в положении, которое составляет от 35% до 65% рабочей глубины тела резервуара. Когда используется горизонтальная цилиндрической сетка, установочная высота цилиндрической сетки находится в положении, которое составляет от 35% до 65% рабочей глубины тела резервуара.

Конец для входящего потока системы (конец для входящего потока первого аноксидного реактора 1) оборудован прибором для анализа скорости потока в режиме реального времени и прибором для анализа ХПК в режиме реального времени, приспособленными для получения скорости потока входящего потока и концентрации ХПК во входящем потоке. Выпускной конец первого аноксидного реактора 1 оборудован прибором для анализа нитратного азота в режиме реального времени для получения концентрации нитратного азота в отходящей воде. Выпускной конец пятого аэробного реактора 5 оборудован прибором для анализа аммиачного азота в режиме реального времени, прибором для анализа нитратного азота в режиме реального времени и прибором для анализа растворенного кислорода в режиме реального времени, приспособленными для получения концентрации аммиачного азота в отходящей воде, концентрации нитратного азота и концентрации растворенного кислорода. Все эти приборы для анализа представляют собой существующие технологии.

Второй аноксидно-аэробный реактор 2 имеет регулируемую функцию, и управление перемешивающим устройством и аэрационным устройством в нем осуществляется с помощью контроллера 16 для работы согласно следующему процессу.

Когда второй аноксидно-аэробный реактор 2 находится в состоянии, в котором запущено перемешивание и остановлено аэрационное устройство, реактор 2 используется как аноксидный реактор денитрификации для удаления азота путем денитрификации. Когда концентрация нитратного азота в отходящей воде первого аноксидного реактора 1 меньше заданного значения  $C_1$  или равняется ему, и время обслуживания превышает заданное значение  $T_1$ , второй аноксидно-аэробный реактор 2 автоматически останавливает перемешивающее устройство, и запускает аэрационное устройство, и переключается из аноксидного состояния в аэробное состояние, и реактор 2 используется как аэробный реактор для обеспечения деградации органических веществ. Когда концентрация нитратного азота в отходящей воде первого аноксидного реактора 1 превышает заданное значение  $C_1$ , и время обслуживания превышает заданное значение  $T_2$ , второй аноксидно-аэробный реактор 2 автоматически останавливает аноксидную систему и запускает перемешивающую систему, т. е. переключается из аэробного состояния в аноксидное состояние.

Пятый аэробный реактор 5 имеет функцию регулировки аэрации, и управление перемешивающим устройством и аэрационным устройством в нем осуществляется с помощью контроллера 17 для работы согласно следующему процессу:

когда концентрация аммиачного азота на выпускном конце пятого аэробного реактора 5 превышает заданное значение  $C_2$  или равняется ему, аэрационный расход повышается до тех пор, пока уровень растворенного кислорода не достигнет 6-8 мг/л и не останется в этом диапазоне; и, когда концентрация аммиачного азота на выпускном конце пятого аэробного реактора 5 меньше заданного значения  $C_3$  ( $C_3 < C_2$ ) или равняется ему, аэрационный расход постепенно снижается до тех пор, пока концентрация аммиачного азота в отходящей воде не станет выше заданного значения  $C_3$ , но ниже заданного значения  $C_2$ , и управление минимальным аэрационным расходом осуществляется так, чтобы он составлял  $10 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ .

Заданное значение  $C_1$ , заданное значение  $C_2$ , заданное значение  $C_3$ , заданное значение  $T_1$  и заданное значение  $T_2$  должны быть конкретно определены согласно требованиям относительно аммиачного азота в окончательной отходящей воде и требованиям относительно общего азота в окончательной отходящей воде для регулировки таким образом, чтобы соответствовать требованиям относительно окончательной отходящей воды.

Насос 15 обратного потока жидкости нитрификации размещен между пятым аэробным реактором 5 и первым аноксидным реактором 1, причем насос 15 обратного потока соединен с контроллером 18, и причем насос 15 обратного потока представляет собой осевой насос большого расхода и низкого давления. Контроллер 18 обратного потока жидкости нитрификации управляет насосом 15 обратного потока для обеспечения обратного потока выходящей жидкости нитрификации пятого аэробного реактора 5 в первый аноксидный реактор 1 посредством трубы (канала). Общая величина ХПК, соответствующая кислороду, поступающему в первый аноксидный реактор 1, получена путем отслеживания в режиме реального времени величины входящего потока первого аноксидного реактора 1 и концентрации ХПК во входящем потоке, общая величина нитратного азота, который должен поступать в первый аноксидный реактор 1, определена согласно заданному значению  $\theta_1$  соотношения углерода и азота (C/N), и величина обратного потока дополнительно определена согласно концентрации нитратного азота в отходящей воде пятого аэробного реактора 5. В этот момент значение коэффициента обратного потока задано в 200%, если коэффициент обратного потока превышает 200%, и значение коэффициента обратного потока задано в 50%, если коэффициент обратного потока меньше 50%.

Устройство 14 добавления источника углерода размещено в шестом аноксидном реакторе 6, устройство 14 добавления источника углерода соединено с контроллером 19, и контроллер 19 управляет

объемом добавления с помощью устройства 14 добавления источника углерода. Общая величина нитрата, поступающего в шестой аноксидный реактор 6, получена согласно концентрации нитратного азота в отходящей воде пятого аэробного реактора 5, и объем добавления с помощью источника углерода определен согласно заданному значению  $\theta_2$  соотношения углерода и азота (C/N).

Заданные значения ( $\theta_1$  и  $\theta_2$ ) соотношения углерода и азота (C/N) могут быть определены согласно опытным значениям,  $\theta_1$  и  $\theta_2$  соответственно относятся к типам входящего потока и источника углерода, каждый тип входящего потока и источника углерода имеет опытное значение, и они представляют собой существующие технологии.

В А/О блоке первой ступени первый аноксидный реактор 1 представляет собой аноксидную зону преденитрификации, и электронодонорные матрицы, обеспеченные источником углерода органических веществ во входящем потоке, используются для удаления нитратного азота путем денитрификации. В этом процессе осуществляется обратный поток нитратного азота, содержащегося в выходящем потоке, из пятого аэробного реактора 5 в первый аноксидный реактор 1 посредством насоса 15 обратного потока жидкости нитрификации. Второй аноксидно-аэробный реактор 2 используется как аноксидная зона регулировки денитрификации / аэробная зона регулировки деградации органических веществ. При аноксидном состоянии в реакторе 2 используются электронодонорные матрицы, обеспеченные источником углерода органических веществ во входящем потоке, для удаления нитратного азота путем денитрификации, и он обеспечивает достаточную и полную реакцию преденитрификации как дополнение к первому аноксидному реактору 1. При аэробном состоянии реактор 2 используется как аэробная зона деградации органических веществ для обеспечения деградации органических веществ в сточной воде, поступающей в реактор, чтобы обеспечить то, что последующая аэробная зона реакции будет находиться в состоянии низкой органической нагрузки. Когда второй аноксидно-аэробный реактор 2 находится в аэробном состоянии, третий аэробный реактор 3 используется как аэробная зона деградации органических веществ для обеспечения деградации органических веществ в сточной воде, поступающей в третий аэробный реактор, чтобы обеспечить то, что последующая аэробная зона реакции будет находиться в состоянии низкой органической нагрузки. Когда второй аноксидно-аэробный реактор 2 находится в аэробном состоянии, третий аэробный реактор 3 используется как аэробная зона реакции деградации органических веществ и нитрификации для удаления органических веществ, органического азота и аммиачного азота, поступающих в третий аэробный реактор. Четвертый аэробный реактор 4 используется как аэробная зона реакции нитрификации для удаления органического азота и аммиачного азота, поступающих в четвертый аэробный реактор. Пятый аэробный реактор 5 используется как аэробная зона реакции нитрификации, способная управлять уровнем растворенного кислорода посредством регулировки аэрации, и используется как дополнение к четвертому реактору 4 для обеспечения достаточной и полной реакции нитрификации.

В А/О блоке второй ступени шестой аноксидный реактор 6 и седьмой аноксидный реактор 7 используются как зона постденитрификации, добавленный внешний источник углерода используется как электронодонорная матрица денитрификации для удаления нитратного азота путем денитрификации. В этом процессе реакции согласно критерию выброса общего азота для окончательно очищенной отходящей воды, управление величиной удаления нитратного азота осуществляется путем регулировки объема внешнего источника углерода, который должен быть добавлен. Восьмой аэробный реактор 8 в основном обеспечивает деградацию и удаление остаточных органических веществ в выходящем потоке из седьмого аноксидного реактора 7 и может также выполнять нитрификацию, которая должна использоваться как дополнение к реакции нитрификации А/О блока первой ступени (может также пониматься как реакция нитрификации А/О блока второй ступени, однако это только дополнение, а не основная реализация реакции нитрификации), для обеспечения управления показателями качества воды, например, органическими веществами, общим азотом и аммиачным азотом окончательно очищенной отходящей воды согласно проектным требованиям.

Во всех из блока 9 осветления и отделения иловой воды, устройства 14 добавления источника углерода и всех контроллеров используются существующие технологии.

Первичная отходящая вода из настоящей станции очистки сточных вод была очищена системой, и конкретная реализация выполняется согласно следующим этапам.

(1) Культивирование биопленок на взвешенных носителях биопленок.

Определенную величину взвешенных носителей 10 биопленок соответственно подавали на третий, четвертый и восьмой аэробные реакторы (3, 4 и 8) и второй аноксидно-аэробный реактор 2, и управление степенью заполнения и добавления каждого из реакторов (2, 3, 4, 5 и 8) осуществляли так, чтобы она составляла 55%. Входящий поток добавляли в каждый из реакторов для достижения нормального уровня жидкости для управления реакцией в реакторах, аэрационное устройство 12 каждого из реакторов запускали для оксигенационной аэрации, и культивирование биопленок выполняли путем управления интенсивностью подачи воздуха аэрации таким образом, чтобы она не превышала  $55 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ , и уровнем растворенного кислорода таким образом, чтобы он составлял 4-5 мг/л. В первые 5 дней сточную воду в реакторах меняли раз в сутки. С 5-го по 10-й день сточные воды в реакторах меняли дважды в сутки. После 10-го дня входящий поток реакторов и смешанный раствор в различные периоды времени реакции под-

вергали отслеживанию основного показателя качества воды по ХПК и аммиачному азоту и наблюдали за состоянием культивирования биопленок. После того как степень очистки по ХПК отходящей воды в каждый период очистки достигала приблизительно 80% и создавалось эффективное культивирование биопленок, культивирование биопленок взвешенных носителей биопленок завершали.

### (2) Запуск ранней стадии.

Взвешенные носители 10 биопленок, подверженные культивированию биопленок, распределяли по каждому из реакторов (1-8) согласно такому принципу, чтобы степень заполнения в каждом из первого, шестого и седьмого аноксидных реакторов (1, 6 и 7) не превышала 45%, степень заполнения в каждом из второго аноксидно-аэробного реактора 2 и пятого аэробного реактора 5 не превышала 40%, и степень заполнения в каждом из третьего, четвертого и восьмого аэробных реакторов (3, 4 и 8) не превышала 55%.

Применяли рабочий режим постоянного входящего потока и выпуска, и управление скоростью потока входящего потока системы осуществляли так, чтобы она составляла 20-50% проектной скорости потока.

Перемешивающие устройства 11 запускали так, чтобы сделать взвешенные носители 10 биопленок в первом, шестом и седьмом аноксидных реакторах (1, 6 и 7) и втором аноксидно-аэробном реакторе 2 достаточно псевдооживленными. Аэрационные устройства 12 запускали так, чтобы сделать взвешенные носители биопленок в третьем, четвертом и восьмом аэробных реакторах (3, 4 и 8) и пятом аэробном реакторе 5 достаточно псевдооживленными. Насос 15 обратного потока запускали для подъема и осуществления обратного потока выходящего потока из пятого аэробного реактора 5 в первый аноксидный реактор 1 посредством трубы (канала), и управление коэффициентом обратного потока осуществляли так, чтобы он составлял 100%.

Запускали устройство 14 добавления источника углерода и контроллер 19. Например, ацетат натрия использовался как внешний источник углерода,  $\theta_1$  задано как 4,0:1, и управление объемом источника углерода, который должен быть добавлен, осуществлялось автоматически. Одновременно наблюдали за ХПК, аммиачным азотом и нитратным азотом входящего потока системы и отходящей воды восьмого реактора и состоянием культивирования биопленок. После того как степень очистки по ХПК, аммиачном азоту и общему азоту окончательно очищенной отходящей воды достигала приблизительно 80% и создавалось эффективное культивирование биопленок, скорость потока входящего потока системы и нагрузка постепенно улучшались этап за этапом до тех пор, пока нагрузка по очистке системы не достигала указанных условий нагрузки по очистке.

### (3) Формальная работа.

После достижения указанных условий нагрузки по очистке осуществляли оптимизацию и управление в отношении всей системы.

Регулировали интенсивность перемешивания первого, шестого и седьмого аноксидных реакторов (1, 6 и 7) и второго аноксидно-аэробного реактора 2, и интенсивность перемешивания снижали как можно сильнее с условием обеспечения достаточного псевдооживления взвешенных носителей биопленок. Регулировали интенсивность аэрации третьего, четвертого, пятого и восьмого аэробных реакторов (3, 4, 5 и 8), и управление уровнем растворенного кислорода осуществляли так, чтобы он составлял 5-7 мг/л, с условием обеспечения достаточного псевдооживления взвешенных носителей биопленок.

Запускали контроллер 18 обратного потока жидкости нитрификации, и управление величиной обратного потока осуществляли согласно заданному значению  $\theta_2$ , составляющему 6,5:1. Устройство 14 добавления источника углерода и контроллер 19 поддерживали в запущенном состоянии, и управление объемом источника углерода, который должен быть добавлен, осуществляли согласно заданному значению  $\theta_1$ , составляющему 4,0:1.

Запускали контроллер 16 второго аноксидно-аэробного реактора, и управление вторым аноксидно-аэробным реактором 2 осуществлялось автоматически так, чтобы он находился в аноксидном состоянии или аэробном состоянии, согласно заданному значению  $C_1$ , заданному значению  $T_1$  и заданному значению  $T_2$ . Запускали контроллер 17 пятого аэробного реактора, и интенсивность аэрации пятого реактора 5 автоматически регулировалась согласно заданному значению  $C_2$  и заданному значению  $C_3$ , и управление показателями качества воды относительно органических веществ, общего азота, аммиачного азота и т. п. окончательно очищенной отходящей воды осуществляли согласно проектным требованиям с условием достаточного псевдооживления взвешенных носителей 10 биопленок. Например, когда требование относительно аммиачного азота в окончательной отходящей воде составляло 2 мг/л, и требование относительно общего азота в окончательной отходящей воде составляло 5 мг/л, значения концентрации  $C_1$  нитратного азота, концентрации  $C_2$  аммиачного азота и концентрации  $C_3$  аммиачного азота могли быть соответственно заданы равными 2 мг/л, 4 мг/л и 2 мг/л, и каждое из значений  $T_1$  и  $T_2$  могло быть задано равным 5 мин.

Качество входящего потока и отходящей воды согласно настоящему варианту осуществления было следующим: при температуре реакции 8-25°C диапазон концентрации ХПК во входящем потоке составлял 76-284 мг/л, средняя концентрация в отходящей воде составляла  $29,3 \pm 10,6$  мг/л, диапазон концентрации аммиачного азота во входящем потоке составлял 21,8-85,1 мг/л, концентрация аммиачного азота в

отходящей воде составляла  $0,14 \pm 0,33$  мг/л, диапазон концентрации общего азота во входящем потоке составлял 25,7-87,8 мг/л, и средняя концентрация в отходящей воде составляла  $2,7 \pm 3,4$  мг/л. В условиях колебания условий реакции система достигла стабильного эффекта удаления загрязняющих веществ.

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Двухступенчатая система очистки сточных вод с помощью аноксидно-аэробных биопленок с регулируемыми зонами реакции, содержащая А/О блок первой ступени и А/О блок второй ступени, которые последовательно соединены, при этом А/О блок первой ступени содержит первый аноксидный реактор, второй аноксидно-аэробный реактор, третий аэробный реактор, четвертый аэробный реактор и пятый аэробный реактор, которые последовательно соединены; А/О блок второй ступени содержит шестой аноксидный реактор, седьмой аноксидный реактор и восьмой аэробный реактор, которые последовательно соединены; каждый из реакторов заполнен взвешенными носителями биопленок; перемешивающее устройство размещено в каждом из первого аноксидного реактора, шестого аноксидного реактора, седьмого аноксидного реактора и второго аноксидно-аэробного реактора; и аэрационное устройство размещено в каждом из третьего аэробного реактора, четвертого аэробного реактора, пятого аэробного реактора, восьмого аэробного реактора и второго аноксидно-аэробного реактора.

2. Двухступенчатая система очистки сточных вод с помощью аноксидно-аэробных биопленок с регулируемыми зонами реакции по п.1, отличающаяся тем, что значения степени заполнения взвешенными носителями биопленок являются следующими: степень заполнения в каждом из первого аноксидного реактора, шестого аноксидного реактора и седьмого аноксидного реактора не превышает 45%, степень заполнения в каждом из второго аноксидно-аэробного реактора и пятого аэробного реактора не превышает 40% и степень заполнения в каждом из третьего аэробного реактора, четвертого аэробного реактора и восьмого аэробного реактора не превышает 55%.

3. Двухступенчатая система очистки сточных вод с помощью аноксидно-аэробных биопленок с регулируемыми зонами реакции по п.1, отличающаяся тем, что потребляемая мощность при перемешивании перемешивающего устройства составляет не менее  $25 \text{ Вт/м}^3$ .

4. Двухступенчатая система очистки сточных вод с помощью аноксидно-аэробных биопленок с регулируемыми зонами реакции по п.1, отличающаяся тем, что в аэрационном устройстве применена перфорированная труба, размещенная на одной стороне для аэрации, и аэрационный расход в просвете каждого из аэрационных отверстий на перфорированной трубе составляет  $1,60\text{-}1,75 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

5. Двухступенчатая система очистки сточных вод с помощью аноксидно-аэробных биопленок с регулируемыми зонами реакции по п.1, отличающаяся тем, что задерживающая сетка для взвешенных носителей биопленок выходящего потока размещена в каждом из реакторов, максимальная скорость потока при фильтрации задерживающей сетки не превышает 60 м/ч, живое сечение задерживающей сетки не превышает 60%, и размер ячейки задерживающей сетки составляет 60% диаметра взвешенных носителей биопленок.

6. Двухступенчатая система очистки сточных вод с помощью аноксидно-аэробных биопленок с регулируемыми зонами реакции по п.1, отличающаяся тем, что конец для входящего потока А/О блока первой ступени оборудован прибором для анализа скорости потока в режиме реального времени и прибором для анализа ХПК в режиме реального времени; выпускной конец первого аноксидного реактора оборудован прибором для анализа нитратного азота в режиме реального времени; и выпускной конец пятого аэробного реактора оборудован прибором для анализа аммиачного азота в режиме реального времени, прибором для анализа нитратного азота в режиме реального времени и прибором для анализа растворенного кислорода в режиме реального времени.

7. Двухступенчатая система очистки сточных вод с помощью аноксидно-аэробных биопленок с регулируемыми зонами реакции по п.1, отличающаяся тем, что управление и регулировка в отношении второго аноксидно-аэробного реактора осуществляются согласно следующему процессу:

в состоянии, в котором запущено перемешивание и остановлена аэрация, второй аноксидно-аэробный реактор используется как аноксидный реактор денитрификации для удаления азота путем денитрификации; когда концентрация нитратного азота в отходящей воде первого аноксидного реактора меньше заданного значения  $C_1$  или равняется ему и время обслуживания превышает заданное значение  $T_1$ , второй аноксидно-аэробный реактор автоматически останавливает перемешивание, запускает аэрацию и переключается из аноксидного состояния в аэробное состояние, и второй аноксидно-аэробный реактор используется как аэробный реактор для обеспечения деградации органических веществ; и, когда концентрация нитратного азота в отходящей воде первого аноксидного реактора превышает заданное значение  $C_1$  и время обслуживания превышает заданное значение  $T_2$ , второй аноксидно-аэробный реактор останавливает аэрацию, запускает перемешивание и переключается из аэробного состояния в аноксидное состояние.

8. Двухступенчатая система очистки сточных вод с помощью аноксидно-аэробных биопленок с регулируемыми зонами реакции по п.1, отличающаяся тем, что пятый аэробный реактор подвергается регулировке аэрации согласно следующему процессу:

когда концентрация аммиачного азота на выпускном конце пятого аэробного реактора превышает заданное значение  $C_2$  или равняется ему, аэрационный расход повышается до тех пор, пока уровень растворенного кислорода не достигнет 6-8 мг/л и не останется в этом диапазоне; и, когда концентрация аммиачного азота на выпускном конце пятого аэробного реактора меньше заданного значения  $C_3$  ( $C_3 < C_2$ ) или равняется ему, аэрационный расход постепенно снижается до тех пор, пока концентрация аммиачного азота в отходящей воде не станет выше заданного значения  $C_3$ , но ниже заданного значения  $C_2$ , и управление минимальным аэрационным расходом осуществляется так, чтобы он составлял  $10 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ .

9. Двухступенчатая система очистки сточных вод с помощью аноксидно-аэробных биопленок с регулируемыми зонами реакции по п.1, отличающаяся тем, что насос обратного потока жидкости нитрификации размещен между пятым аэробным реактором и первым аноксидным реактором и приспособлен для обеспечения обратного потока выходящей жидкости нитрификации пятого аэробного реактора в первый аноксидный реактор; и общая величина ХПК, соответствующая кислороду, поступающему в первый аноксидный реактор, получена путем отслеживания в режиме реального времени величины входящего потока первого аноксидного реактора и концентрации ХПК во входящем потоке, общая величина нитратного азота, который должен поступать в первый аноксидный реактор, определена согласно заданному значению  $\theta_1$  соотношения углерода и азота, величина обратного потока дополнительно определена согласно концентрации нитратного азота в отходящей воде пятого аэробного реактора, в этот момент коэффициент обратного потока принимает значение в 200%, если коэффициент обратного потока превышает 200%, и коэффициент обратного потока принимает значение в 50%, если коэффициент обратного потока меньше 50%.

10. Двухступенчатая система очистки сточных вод с помощью аноксидно-аэробных биопленок с регулируемыми зонами реакции по п.1, отличающаяся тем, что устройство добавления источника углерода размещено в шестом аноксидном реакторе, общая величина нитрата, поступающего в шестой аноксидный реактор, вычислена согласно концентрации нитратного азота в отходящей воде пятого аэробного реактора и объем источника углерода, который должен быть добавлен, определен согласно заданному значению  $\theta_2$  соотношения углерода и азота.

