



ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕМБРАННЫХ БИОРЕАКТОРОВ

Эпоха доступной и качественной питьевой воды заканчивается. Бутилированная вода, продаваемая повсеместно в продуктовых магазинах, – это реалии современного мира. А всего 10–15 лет назад в нашей стране такая вода существовала только на страницах фантастических романов.

Теперь же изменение погодных условий, засуха, повышение затрат на очистку и транспортировку воды, используемой на нужды водоснабжения, привели к переосмыслению водопользования. Все чаще в проектах водоснабжения и водоотведения различных объектов архитекторы и проектировщики предлагают в качестве водосберегающего мероприятия повторное использование воды. Одной из технологий переработки сточных вод в «серые» воды, активно развивающихся в настоящее время, является очистка сточных вод мембранными биореакторами (МБР). Такая вода считается в зарубежных стандартах достаточно чистой для использования при уборке помещений, смыва в унитазах и полива газонов.

Подобные системы очистки находят применение не только в масштабных проектах, но и в зданиях небольшой площади, имеющих подключение к городским системам водоснабжения и водоотведения – компактность систем с использованием МБР позволяет размещать их в подвалах. Количество сточных вод на таких объектах достаточно для работы системы очистки. Это не только экономит количество потребленной воды питьевого качества, но и снижает общую нагрузку на муниципальные системы канализации и городские очистные сооружения.

Общие понятия

Мембранный биореактор сочетает биологическую обработку активным илом с механической мембранной фильтрацией. Мембранный модуль используется для разделения иловой смеси и представляет собой альтернативу широко применяемому методу осаждения активного ила во вторичных отстойниках, используемую в традиционных системах биологической очистки в аэротенках.

При очистке бытовых сточных вод МБР могут производить «серые» воды достаточно высокого качества для того, чтобы их можно было сбросить в естественные водоемы или же использовать в системе орошения, предназначенной для полива городских зеленых насаждений. Другие преимущества, которые отличают системы очистки с использованием МБР, – компактный размер, поэтому их легко можно применить при модернизации старых очистных сооружений; возможность работы систем МБР при более высокой концентрации активного ила, а также предотвращение выноса активного ила в очищенные воды благодаря особенностям фильтрации с помощью мембран – позволили добиться уменьшения объема биореактора без снижения его производительности.

Существует два типа биореакторов:

- с внутренним расположением мембраны: погруженные в очищаемую воду мембраны являются неотъемлемой частью биологического реактора;
- с внешним расположением мембран: мембраны отделены от технологических емкостей

и требуют установки промежуточных перекачивающих насосов.

Традиционная схема очистки сточных вод и схема очистки с помощью МБР представлены на рис. 1. Схема очистки с биореактором способна отфильтровать из сточных вод твердые вещества, болезнетворные микроорганизмы и вирусы.

Последние технические инновации и значительное снижение стоимости мембран привели к росту популярности МБР. Их применяют для обработки и повторного использования как бытовых, так и промышленных сточных вод. Об успешном применении данной технологии свидетельствует тот факт, что на рынке появляются новые типоразмеры мембранных реакторов, а также увеличивается мощность этих устройств.

Также распространение данных систем обусловлено ростом спроса на LEED-сертифицированные здания. Рециркуляция воды вносит существенный вклад в достижение цели строительства экологически безопасных зданий, не наносящих вред окружающей среде. Данного мнения придерживается Green Building Council, которая администрирует программу LEED в США.

Действительно, огромные энергетические и строительные ресурсы тратятся на то, чтобы транспортировать сточные воды к очистным сооружениям, очищенные сточные воды затем сбрасываются в реки, из рек вода снова забирается, повторно очищается в системах водоподготовки, затем транспортируется к потребителю с помощью энергозатратных насосных установок. Получается, что мы прилагаем много сил и тратим впустую ресурсы только для того, чтобы перегонять значительное количество воды на большие расстояния, вместо

того чтобы сразу на месте ее очистить и использовать.

История

Впервые идея МБР была реализована в конце 1960-х годов, как только мембраны ультрафильтрации (УФ) и микрофильтрации (МФ) стали доступны не только для научного, но и для коммерческого использования. Оригинальный процесс был внедрен корпорацией Dorr-Olivier, где использовали сочетание активного ила и мембранной фильтрации. Плоские листы мембраны, применяемые в этом процессе, были полимерными, величина пор от 0,003 до 0,01 мкм. Хотя идея замены традиционного отстойника активного ила была привлекательной, было трудно оправдать применение такого сложного процесса для очистки сточных вод из-за трех факторов: высокой стоимости мембран, низкой экономической стоимости товара («серых стоков»), а также быстрой потери производительности мембраны из-за загрязнения ее пор. Из-за низкой окупаемости всех МБР первого поколения они нашли применение только в очень малой доле очистных сооружений с особыми потребностями, например на отдельно стоящих горнолыжных курортах.

Прорыв в развитии МБР произошел в 1989 году, когда корпорация «Ямамото» решила погрузить мембраны непосредственно в биореактор. До тех пор все МБР были разработаны с разделением устройств и принцип их работы базировался на создании высокого трансмембранного давления для поддержания фильтрации, а это требовало поддержания большого расхода сточных вод.

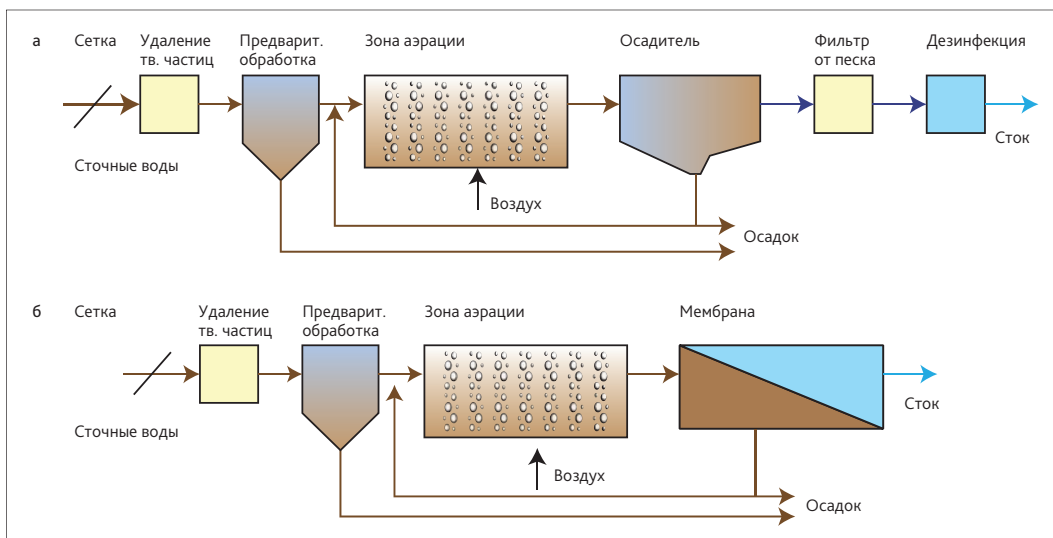


Рис. 1. Традиционная схема очистки сточных вод (а) и схема очистки с помощью МБР (б)

Системы очистки с мембраной, погруженной в биореактор, работают при более низком расходе сточных вод и потребляют значительно меньшее количество энергии (энергопотребление может быть на два порядка ниже, чем у раздельных систем). В конфигурации с погружной мембраной важным параметром, влияющим на процесс очистки вод, является аэрация. Аэрация поддерживает твердые вещества в состоянии суспензии, очищает поверхности мембраны и обеспечивает кислородом биомассы, что приводит к лучшему биологическому разложению и клеточному синтезу.

Другим ключевым шагом в развитии последних МБР была идея использовать двухфазную пузырьковую жидкость для контроля загрязнения. Это позволило автоматизировать процессы очистки. Низкие эксплуатационные затраты, достигнутые при применении погружной конфигурации МБР, наряду с устойчивым снижением стоимости мембраны привели к значительному росту применения установок с середины 1990-х годов. С того времени конструкцию постоянно модифицировали, применялись улучшенные типы мембраны, проводились эксперименты по подбору оптимальной скорости потоков сточных вод и аэрируемого воздуха с целью увеличить срок службы мембраны. В последние годы была разработана процедура более четкого контроля рабочих параметров, а также внедрена обратная промывка, которая позволяет МБР устойчиво функционировать и затрачивать небольшое количество энергии – около 0,3 кВт·ч/м³ продукта.

Тем не менее, несмотря на использование обратной промывки, производительность фильтрации МБР неизбежно снижается в процессе эксплуатации, что происходит из-за отложения растворимых и твердых частиц и в мембране, связанного с взаимодействием между компонентами активного ила и мембраны. Это – основной недостаток, который остается одной из наиболее сложных проблем, стоящих перед дальнейшим развитием МБР.

При любом мембранном фильтровании требуется периодическая чистка мембраны для восстановления ее исходных характеристик и снятия возможных органических и минеральных отложений. Промывка мембранного блока осуществляется с помощью циркуляционного насоса, который обеспечивает равномерное омывание мембран по всей их длине, что гарантирует одинаковую чистоту поверхности в любой точке. Промывка мембранного блока полностью автоматизирована. Она длится несколько часов и осуществляется по нескольку раз в год в качестве профилактической меры в автоматическом режиме.

Применение мембранных биореакторов

- Очистка сточных вод промышленных предприятий.
- Очистка сточных вод молокозаводов и маслозаводов.
- Очистка поверхностных сточных вод.
- Промышленная очистка воды текстильного производства.
- Очистка сточных вод птицефабрик.

В зависимости от технологических задач МБР может использоваться как на этапе финишной очистки (до стадии обеззараживания), так и для предочистки перед нанофильтрацией и обратным осмосом при необходимости обессоливания очищенной воды.

Принцип действия мембранного биореактора

В основу действия биореактора положен синтез биотехнологии и технологии разделения водных суспензий на ультрафильтрационных полимерных мембранах.

Система МБР состоит из аэротенка и мембранного модуля, оборудованного полволоконными ультрафильтрационными или микрофильтрационными мембранами. Обработываемые сточные воды поступают в аэротенк. Находящаяся в аэротенке иловая смесь циркулирует через мембранный модуль. Ультрафильтрационные мембраны служат для повышения концентрации активного ила в аэротенке и глубокой очистки обрабатываемых сточных вод. Аэротенк в системе МБР работает с высокой концентрацией активного ила, поэтому его размеры в 2–3 раза меньше размеров классического проточного аэротенка.

Мембранный модуль (рис. 2) состоит из 10–20 кассет с мембранами. В каждой кассете располагаются от 5 до 15 пучков мембранных волокон. Полволоконная мембрана представляет собой полую нить наружным диаметром около 2 мм и длиной до 2 м. Поверхность нити представляет собой ультрафильтрационную мембрану с размером пор 0,03–0,1 мкм.

Каждый пучок состоит из 100–1000 мембранных волокон и оборудован общим патрубком отвода фильтрата. Столь малый размер пор является физическим барьером для проникновения организмов активного ила, имеющих размер более 0,5 мкм, что позволяет полностью отделить активный ил от сточной воды и снизить концентрацию взвешенных веществ в очищенной воде до 1 мг/л и менее.

Фильтрация происходит под действием вакуума, создаваемого на внутренней поверхности

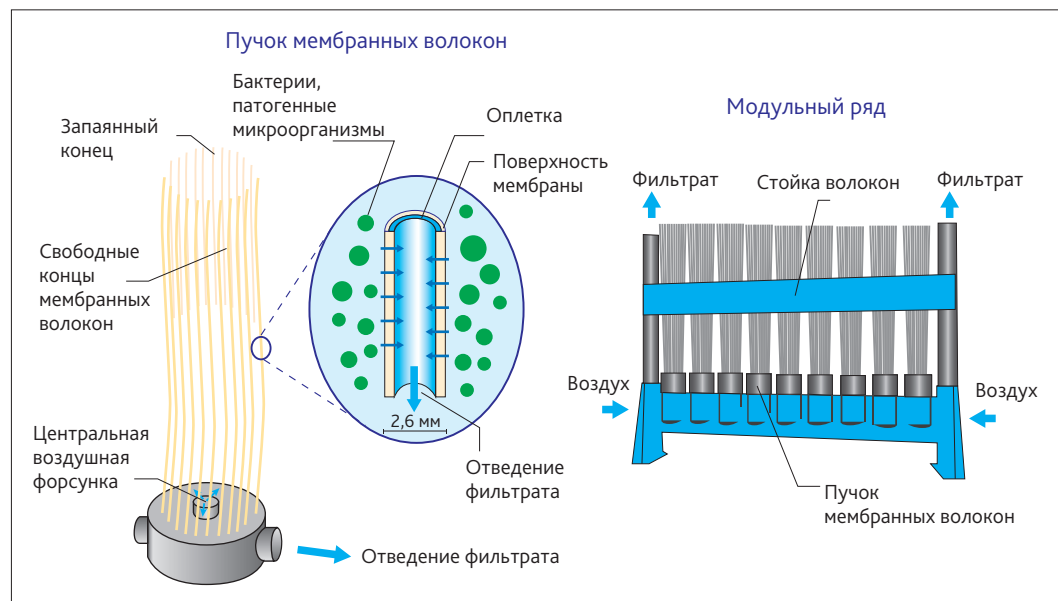


Рис. 2. Мембранный модуль

мембранного волокна самовсасывающим насосом фильтрации. Для организации фильтрации между внутренней полостью мембран и пространством мембранного блока создается разность давлений (0,01–0,06 МПа). При этом смесь сточных вод и активного ила фильтруется через поверхность мембран снаружи вовнутрь. В результате отделения твердых и коллоидных частиц на полволоконных мембранах концентрация активного ила в блоке МБР и в аэротенке повышается, что способствует глубокой биологической очистке стоков и обеспечивает уменьшение объема аэротенки в 2–3 раза.

Очищенная вода поступает по напорным трубопроводам на обеззараживание, а активный ил остается в мембранном резервуаре и поддерживается во взвешенном состоянии с помощью системы аэрации, встроенной в мембранный модуль.

Аэрирование осуществляется сжатым воздухом с помощью аэрационных систем (воздуходувок). В зависимости от требуемой производительности мембранные модули объединяются в мембранный блок. Число мембранных модулей в блоке может быть увеличено при необходимости повышения производительности системы.

Применяемое в системах МБР касательное фильтрование иловой смеси предотвращает ее забивание, т.е. накопление отложений (бактерий). Такое движение иловой смеси обеспечивается циркуляционным насосом с производительностью, значительно выше расхода подлежащей обработке сточной воды. Возможность регулирования расхода и давления в циркуляционном контуре позволяет наладить полноценное управление процессом

мембранного фильтрования при максимальной его эффективности. Кроме того, реализация режима касательного фильтрования имеет положительные последствия в отношении биологии всей системы. Постоянное омывание мембран диспергирует очищающие бактерии, которые более не образуют плотные флоккулы, а потому возможность их прямого контакта с загрязнениями и кислородом значительно увеличивается. Из этого следует, что соотношение активных бактерий и окисляемых загрязнений оказывается большим в системе МБР, чем это обычно встречается в классической системе с активным илом.

Микроорганизмы активного ила не выносятся из системы МБР, поэтому биореактор работает в условиях высокой концентрации биомассы значительного возраста. Кроме того, постоянная циркуляция приводит к механическому воздействию на оболочки бактерий. Именно поэтому основная потребляемая бактериями энергия используется не для размножения (как это происходит в классических биотехнологиях), а расходуется для поддержания жизнедеятельности, что приводит к снижению прироста избыточной активной биомассы.

Особенности технологии

Отказ от гравитационного метода разделения иловой смеси позволяет повысить концентрацию активного ила в биореакторе до 10–20 г/л (в обычной аэротенке – до 3 г/л).

Высокие концентрации активного ила позволяют эксплуатировать биореактор в режиме низких

нагрузок, что создает резерв окисляющей способности, повышает устойчивость биоценоза активного ила к колебаниям состава сточных вод и пиковым нагрузкам, обеспечивает стабильное качество очистки. С другой стороны, высокие концентрации активного ила многократно повышают окисляющую мощность сооружения в целом, что дает возможность очищать высококонцентрированные сточные воды с содержанием органических веществ по ХПК до 4–5 г/л.

При переходе от гравитационного метода разделения иловой смеси к мембранной фильтрации наблюдаются глубокие изменения в структуре биоценоза активного ила. Возраст ила в МБР обычно составляет 25–30 сут, нередко превышая 60–70 сут. При этом основная часть активного ила представлена медленнорастущей микрофлорой, которая наиболее эффективно разлагает трудноокисляемые органические вещества в сточной воде. Преобладание медленнорастущей микрофлоры позволяет значительно снизить прирост активного ила, а следовательно, и необходимые мощности оборудования по обезвоживанию избыточного активного ила.

Размер хлопьев активного ила в МБР в 5–10 раз меньше, чем в распространенных конструкциях аэротенков. Такая дисперсность активного ила приводит к увеличению площади контакта микроорганизмов со сточными водами, повышая эффективность сорбции активным илом инертных веществ, тяжелых металлов, микрозагрязнителей.

Вследствие того что поры мембран имеют меньший размер, чем размеры клеток микроорганизмов, в частности бактерий, в МБР происходит частичное обеззараживание воды. Эффективность удаления бактерий составляет 99,999 %, вирусов – 99,9 %. Непосредственно после МБР очищенная вода может быть сразу направлена на повторное использование для непитьевых целей.

Высокие дозы ила позволяют сократить время пребывания сточных вод в сооружении. Как следствие, площадь, занимаемая МБР, в 2–4 раза меньше площади, занимаемой традиционными сооружениями биологической очистки.

Преимущества технологии мембранных биореакторов

1. Возможность произвести без включения в технологическую схему дополнительных блоков глубокую очистку сточных вод от загрязняющих веществ до показателей, удовлетворяющих требованиям к сбросу очищенных стоков в природные водоемы всех категорий.
2. Возможность получения «серых» вод, использование которых значительно снижает нагрузку, создаваемую зданием на окружающую среду.
3. Повышение устойчивости работы биореактора к залповым сбросам биорезистивных веществ, характерных для промышленных объектов локального водоотведения.
4. Возможность увеличения или уменьшения производительности без изменения технологического процесса.
5. Снижение на 20–40 % массогабаритных характеристик емкостных сооружений, так как необходимое количество активного ила находится в меньшем объеме при более высокой концентрации.
6. Получение малого количества избыточного активного ила, что значительно влияет на стоимость его механического обезвоживания и утилизацию.
7. Сокращение на 30–70 % площади, занимаемой оборудованием (благодаря отсутствию вторичных отстойников, блоков доочистки, иловых площадок).
8. Обеспечение высокой микробиологической безопасности очищенных стоков.
9. Исключен вынос активного ила из системы в резервуар с очищенной водой.

Перспективы мембранных биореакторов на мировом рынке

Согласно статье, представленной на сайте BBS Research, мировой рынок технологий мембранных биореакторов увеличился с \$216,6 млн в 2005 году приблизительно до \$296 млн к концу 2008-го и до \$488 млн в 2013 году при среднегодовом темпе роста 10,5 %.

Литература

1. Трунов П. В. Особенности процесса очистки сточных вод в погружных мембранных биореакторах // Коммунальное хозяйство городов. – 2010. – № 93.
2. Judd S. The MBR book. Principles and applications of membrane bioreactors in water and wastewater treatment, Elsevier. Oxford, 2006
3. BBS Research. Membrane Bioreactors: Global Markets. Susan Hanft. June 2008.



www.eco-potential.ru
+7 (495) 788-01-88