

Развитие мембранных биореакторов для очистки сточных вод

РЕДАКЦИОННЫЙ ОБЗОР

В настоящее время мембранные биореакторы (МБР) называют одной из наиболее перспективных и динамически развивающихся технологий по очистке сточных вод. Результаты исследований [1], выполненные независимой аналитической компанией «BCC Research», утверждают, что мировой рынок МБР в 2010 г. составлял \$337 млн, в 2014 г. – \$425,7 млн и по прогнозам в 2019 г. приблизится к \$780 млн, демонстрируя совокупный ежегодный темп роста – 12,8 % (рис. 1). Таким образом, рынок МБР растет интенсивнее, чем отраслевые рынки оборудования в целом и мембранных систем очистки сточных вод, в частности.

По прогнозам Bluefield Research [2] тренд роста сохранится, так как глобальное стремление к получению очищенных сточных вод более высокого качества будет в еще большей мере способствовать распространению технологии МБР на рынке очистки воды.

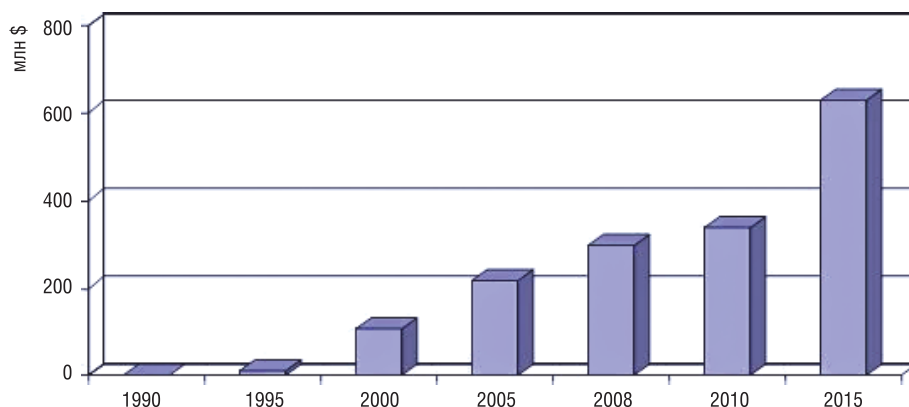
Ежегодно в эксплуатацию вводится более 1000 новых станций на базе МБР. Совокупная производительность МБР установок по всему миру составляет 4,2 млн м³/сут и постоянно увеличивается [3].

В таблице приведены 15 самых крупных очистных сооружений с МБР по состоянию на 2017 г. (включая находящиеся в процессе создания).

Повышению популярности МБР способствует их постоянное совершенствование. По данным [4] удельное потребление электроэнергии на очистку 1 м³ сточных вод в МБР с 1999 г. по 2013 г. снизилось в 2 раза, что иллюстрирует рис. 2.

Аналогичные тенденции роста внедрений МБР прослеживаются и на отечественном рынке водопроводно-канализационного хозяйства. Еще 10 лет назад развитие технологии МБР в России существенно отставало от общемировых трендов в использовании мембранных технологий. К сегодняшнему дню в Российской Федерации уже реализован ряд крупных проектов на базе технологии МБР. Полученные результаты подтверждают высокую эффективность и экономическую целесообразность применения технологии МБР в очистке производственных сточных вод, как на малых, так и на больших очистных сооружениях.

Рис. 1.
Рост мирового рынка МБР

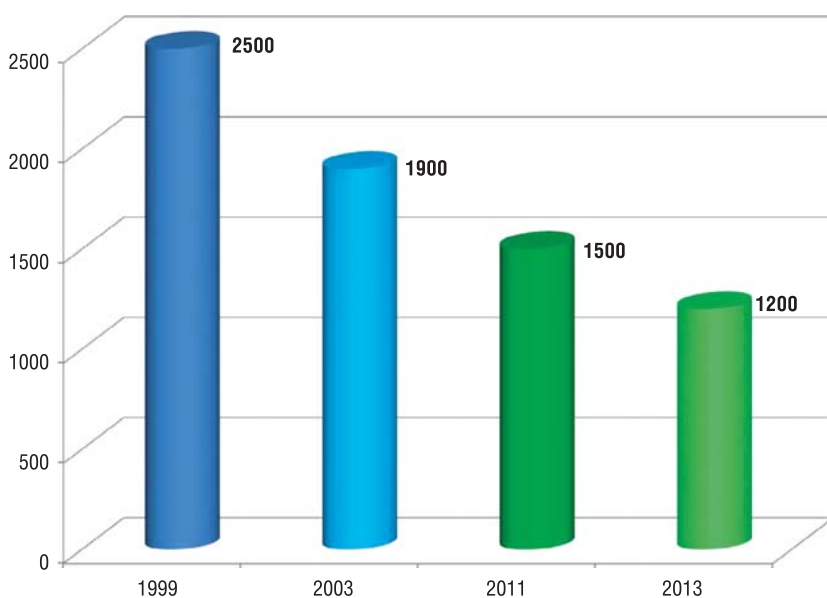


САМЫЕ КРУПНЫЕ ОЧИСТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ С МЕМБРАННЫМИ БИОРЕАКТОРАМИ

№№	Расположение	Проектировщик технологии	Год запуска в эксплуатацию	Максимальный пиковый расход, м³/сут	Средний расход, м³/сут
1	Хенриксдал (Стокгольм), Швеция	GE ¹	2016–2019	864'000	536'000
2	Сингапур	TBC	2016	Нет данных	800'000
3	Ашер (Париж), Франция	GE	2016	357'000	224'000
4	Кантон, Огайо, США	Ovivo, США	2015–2017	333'000	159'000
5	Ксинь, Китай	Origin Water	Нет данных	307'000	Нет данных
6	Юклид, Огайо, США	GE	2018	250'000	83'000
7	Куньмин, Китай	Origin Water	2013	250'000	Нет данных
8	Шунь, Пекин, Китай	GE	2016	234'000	180'000
9	Провинция Хубэй, Китай	Origin Water	2015	200'000	Нет данных
10	Провинция Гирин, Китай	Origin Water	2015	200'000	Нет данных
11	Сиань, Китай	Origin Water	Нет данных	200'000	Нет данных
12	Брюссель, Бельгия	GE	2017	190'000	86'000
13	Риверсайд, Калифорния, США	GE	2014	186'000	124'000
14	Вашингтон, США	GE	2011	175'000	122'000
15	Визалия, Калифорния, США	GE	2014	171'000	85'000

Источник: <http://www.thembrsite.com/about-mbrs/largest-mbr-plants/>

Рис. 2.
Удельное потребление электроэнергии (Вт·час)
на очистку 1 м³ сточных вод в мембранном биореакторе [5]



При подготовке редакционного обзора использованы источники:

1. A BCC Research Membrane & Separation Technology Report. Membrane Bioreactors: Global Markets. USA, 2015.
2. Bluefield Research. Market insight. Global membrane bioreactor market: An emerging competitive landscape. USA, 2014.
3. Faisal I. Hai, Kazuo Yamamoto, Chung-Hak Lee. Membrane biological reactors. Theory, Modelling, Desing, Management and Applications to Wastewater Reuse. IWA Publishing, 2014, p.7.
4. F.I. Hai, K. Yamamoto. Membrane Biological Reactors. In P. Wilderer (Eds.), Treatise on Water Science. UK: Elsevier. 2011. p. 571-613.
5. Pierre Côté, David Brink and Ali Adnan. Pretreatment requirements for membrane bioreactors, Water Environment Foundation, 2006, p. 1855.

¹ General Electric. С 2017 г. подразделение компании по водным технологиям вошло в состав французской компании SUEZ. – Примеч. ред.

Отечественный опыт реализации мембранных биореакторов по технологии «МУ МВР» для очистки производственных сточных вод

М.А. Есин¹,
А.В. Ромашко²,
АО «МАЙ ПРОЕКТ»

В последнее десятилетие сложилась тенденция повышения концентраций загрязняющих веществ в производственных сточных водах в связи с ростом цен на воду питьевого качества и внедрением мероприятий по сокращению ее потребления и развитием оборотных систем. Высокие концентрации поступающих загрязнений от производственных процессов диктуют на стадии проектирования выбор более надежных и современных способов очистки сточных вод, нежели классическая биологическая очистка в аэротенках с вторичными отстойниками.

Руководители промышленных предприятий наиболее часто предъявляют к локальным очистным сооружениям (ЛОС) канализации следующие требования:

- 1) высокая эффективность очистки (часто сточные воды, поступающие на очистные сооружения от предприятия, являются высоко загрязненными, а требования на сброс – для всех одинаковые);
- 2) минимальная необходимая территория, требующаяся для строительства (особенно актуально для предприятий, находящихся в черте города);
- 3) минимальный размер санитарно-защитной зоны;
- 4) минимальная численность обслуживающего персонала, диктующая необходимость высокого уровня автоматизации;
- 5) возможность удаленного контроля состояния объекта.

Этим требованиям наиболее удовлетворяют ЛОС, основанные на применении мембранных биореакторов (МБР). Их основным преимуществом перед системой аэротенк-отстойник является возможность гарантированного поддержания очень высокой дозы активного ила (8–10 г/л), что обеспечивает высокую компактность и надежность процесса.

¹ Есин Михаил Анатольевич, руководитель технологического отдела АО «МАЙ ПРОЕКТ», 115054, РФ, Москва, Б. Строченовский пер., 7, эт. 8, тел.: (495) 989-85-04, e-mail: yesin@myproject.msk.ru.

² Ромашко Андрей Васильевич, ведущий инженер-технолог технологического отдела, АО «МАЙ ПРОЕКТ», 115054, РФ, Москва, Б. Строченовский пер., 7, эт. 8, тел.: (495) 989-85-04, e-mail: romashko@myproject.msk.ru.

При использовании технологии МБР необходимо уделить особое внимание механической очистке для предупреждения засорения мембран мелкими отбросами. Некоторые авторы рекомендуют использовать решетки с прозором не более 2 мм [1], однако опыт работы с МБР АО «МАЙ ПРОЕКТ» и литературные данные [2] показывают, что экономически обосновано применять сита с прозорами 0,5–1,0 мм. В практике эксплуатации МБР на европейских очистных сооружениях канализации с решетками с прозором 3 мм зафиксировано забивание мембран мелким мусором. Например, на одной из первых крупных установок МБР в коммунальном секторе в г. Брешия (Brescia), Италия, перед мембранным био-реактором установлены грубые решетки с прозором 30 мм, аэрируемые горизонтальные песколовки и тонкие решетки (2,0 мм); на ОСК г. Траверс Сити (Traverse City), США, эксплуатируются решетки 6 мм, первичные отстойники и решетки 2 мм; на объекте г. Шилд (Schilde), Бельгия, эксплуатируются барабанные сита с прозором 1 мм, в г. Варссевельд (Varsseveld), Нидерланды, решетки 6 мм, аэрируемые песколовки, сита 0,8 мм [1]. Наилучшее состояние мембран по засоренности мелким мусором отмечено на последнем объекте, в Нидерландах, и это напрямую связано с прозором сит механической очистки.

Стадию тонкого процеживания рационально располагать после песколовки, рассчитанных на эффективное удаление песка³.

По результатам проведенных обследований различных реализованных очистных сооружений с МБР выявлены следующие преимущества решений с особо тонким процеживанием сточных вод на этапе механической очистки:

- 1) более высокая и стабильная фильтрационная способность мембран;
- 2) более продолжительный жизненный цикл мембран;

3) больше интервалы между циклами очистки;

4) защита наиболее дорогостоящего оборудования.

Технология «MY MBR»

Компания «МАЙ ПРОЕКТ» разработала пакет инженерных решений «MY MBR» – интеллектуальный продукт, созданный командой отраслевых специалистов компании на основании собственного многолетнего опыта проектирования и модернизации био-реакторов, с использованием эффективного мембранного оборудования ведущих мировых производителей и адаптированного к условиям работы в Российской Федерации.

Технология «MY MBR» – это оптимальным образом подобранное технологическое оборудование, включающее полный фильтрационный пакет илоразделительных мембран, работа которого предусмотрена в автоматическом режиме благодаря индивидуально разработанной системе управления технологическими процессами.

Отличительной чертой решений с применением «MY MBR» является стабильно высокое качество очищенной воды, малые занимаемые площади, высокий уровень автоматизации технологических процессов и низкие эксплуатационные затраты.

На сегодняшний день технология «MY MBR» успешно апробирована и используется для очистки сточных вод на ряде крупных производственных предприятий. Среди реализованных проектов следует отметить очистные сооружения ООО «Тамбовская индейка», ООО «Пепсико Холдингс», на стадии реализации находится МБР на очистных сооружениях ОАО «ЩекиноАзот» в Тульской области (одни из самых крупных в России промышленных очистных сооружений с проектной производительностью около 24 тыс. м³/сут).

³ Наиболее часто биологическая очистка в МБР производится без предварительного первичного осветления. В этом случае Свод правил СП 32.13330.2012 «Канализация. Наружные сети и сооружения» предписывает продолжительность пребывания в песколовках не менее 10 мин (подразумеваемая последующую эффективную отмывку песка от органики). Свод правил «Канализация. Наружные сети и сооружения» – Примеч. ред.

В 2014 г. выполнено 3 проекта очистных сооружений канализации (ОСК) с использованием технологии МБР для поселков Рогово, Первомайский и Минзаг с максимальной производительностью 1300, 1300 и 650 м³/сут, соответственно. В проекте ОСК поселка Минзаг в Новой Москве (АО «Мосводоканал») удалось компактно разместить всё технологическое оборудование на площади 9×26 м в крытом исполнении, что позволило, наряду с отказом от иловых площадок, уменьшить санитарно-защитную зону объекта.

ЛОС ПТИЦЕФАБРИКИ ООО «ТАМБОВСКАЯ ИНДЕЙКА» (ГРУППА «ЧЕРКИЗОВО»), ПЕРВОМАЙСКИЙ РАЙОН ТАМБОВСКОЙ ОБЛАСТИ

В 2015 г. АО «МАЙ ПРОЕКТ» выполнила проектирование, поставку и строительные-монтажные работы технологического оборудования ЛОС этой птицефабрики, рассчитанных на максимальную производительность 1500 м³/сут.

Сточные воды этого предприятия образуются от производственных цехов, наиболее загрязненные сточные воды поступают от убойного цеха, где производится потрошение, ощипывание птицы, разделывание мяса для разных производственных целей.

Технологическая схема очистки сточных вод птицефабрики включает в себя механическую очистку, усреднение, физико-химическую очистку, мембранные биореакторы и узел механического обезвоживания осадков.

С целью снижения концентраций взвешенных веществ, жиров, фосфатов, ХПК и БПК предусмотрена напорная реагентная флотация.

Для удаления органических соединений, азота аммонийного, нитритов, нитратов и других загрязнений предусмотрены мембранные биореакторы с реализацией процессов нитри-денитрификации. Объемные характеристики биореакторов представлены в табл. 1. Снижение нитратов в очища-

емых сточных водах достигается рециклом сточных вод из конца зоны аэрации биореакторов в мембранные резервуары, затем – в резервуары деаэрации и аноксидные зоны биореакторов. Фактическая доза активного ила в биореакторах поддерживается в интервале 7–9 г/л.

Таблица 1.
Объемы зон биореакторов
на ООО «Тамбовская Индейка»

Название зоны биореактора	Общий объем зон, м ³
Зона деаэрации	94
Аноксидная зона	300
Аэробная зона	614

Узел мембранной ультрафильтрации представлен погружными полуволоконными мембранами низкого давления, выполненными из армированного полого волокна. Мембранные волокна размещены в двух модульных кассетах, которые погружаются в мембранные резервуары. Номинальный и действительный размеры пор соответственно составляют 0,04 и 0,1 микрона и обеспечивают практически 100 % разделение очищаемых сточных вод и активного ила.

После биологической очистки сточные воды обеззараживаются и сбрасываются в водоем.

Энергопотребление на технологические нужды составило около 160 кВт·час, среднее удельное энергопотребление – 2,5 кВт·час на 1 м³ обрабатываемых сточных вод.

В настоящее время завершены пусконаладочные работы, и объект сдан в эксплуатацию. На рис. 1 показан этап установки мембранных кассет в мембранные резервуары и их рабочий вид.

В результате проведения пусконаладочных работ локальных очистных сооружений птицефабрики была достигнута следующая эффективность очистки, представленная в табл. 2.



Рис. 1.
Монтаж мембранных кассет и работающие резервуары на ООО «Тамбовская индейка»

Таблица 2.
Эффективность очистки в период пусконаладочных работ ООО «Тамбовская индейка»

Показатель	До очистки, мг/л	После физико-химической очистки	После очистки, мг/л
Жиры	386–722	120–153	0,1–0,3
Взвешенные вещества	1651–1934	38–97	1,2–3,0
БПК ₅	1908–2533	847–1174	2,2–2,5
ХПК	3752–8160	2016–2980	14,2–35
Азот аммонийный ¹	30–96	26–83	0,08–0,5
Азот нитратов	0,1–0,6	0,1–0,6	3,95–9,7
Фосфаты	35–72	0,09–0,44 ²	0,1–0,3

⁴ Сточная вода убойного цеха характеризуется высоким содержанием органического азота и фосфора, что не отражено в данных табл. 2. В процессе биологической очистки в МБР происходит их минерализация, и они также нуждаются в удалении. – *Примеч. ред.*

⁵ За счет содержания в сточной воде органического фосфора целесообразно производить полное осаждение фосфора фосфатов на стадии физико-химической очистки. Потребность процесса биологической очистки в фосфоре обеспечивается за счет органического фосфора. – *Примеч. ред.*

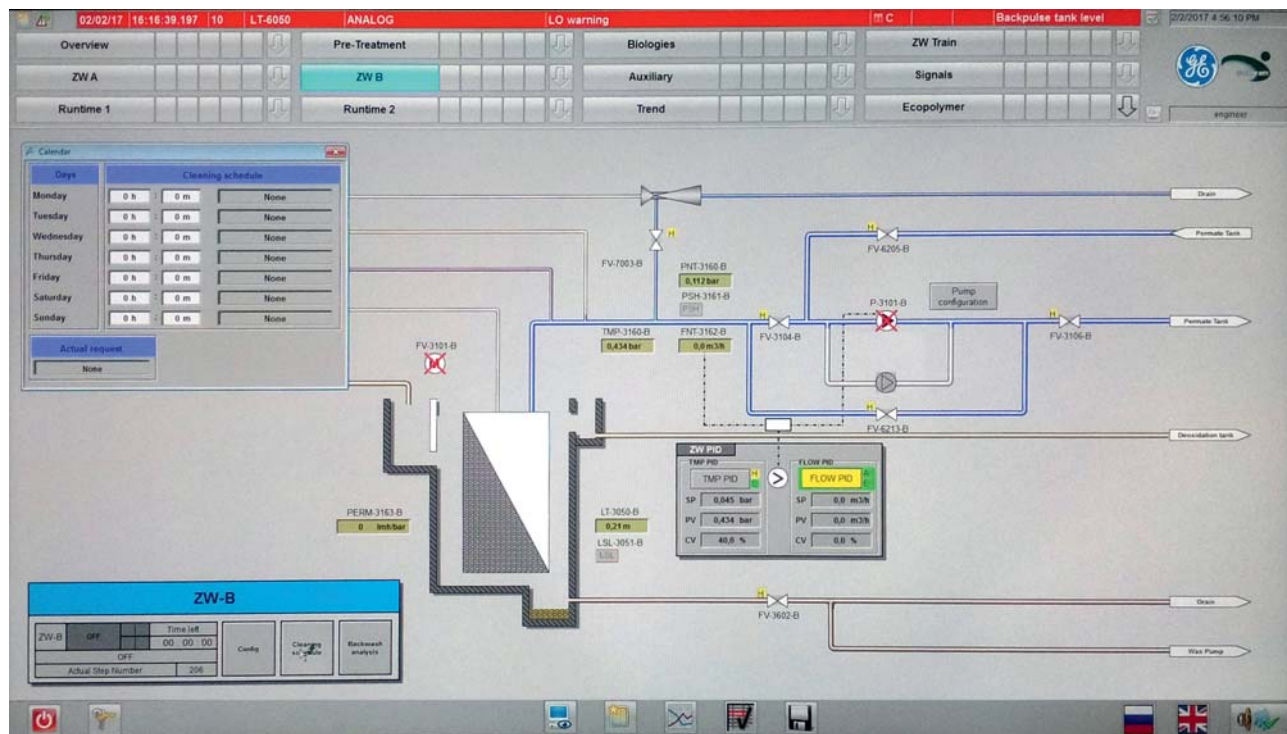


Рис. 2.
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС НА ЭКРАНЕ РАБОЧЕГО КОМПЬЮТЕРА АРМ ОПЕРАТОРА

Работа МБР полностью автоматизирована (рис. 2) и не требует постоянного присутствия обслуживающего персонала, что не только сокращает эксплуатационные затраты, но и позволяет снизить влияние так называемого «человеческого фактора» при его эксплуатации, т.е. исключить ошибки, которые может допустить обслуживающий персонал при работе с системой управления МБР.

Несмотря на тот факт, что концентрации загрязнений поступающих сточных вод часто превышали проектные значения (например, по ХПК, см. рис. 3), в целом, очистные сооружения успешно справляются с поставленной задачей (рис. 4). В случае применения для данного состава сточных вод классической биологической очистки со вторичными отстойниками, такие высокие значения ХПК привели бы к вспуханию активного ила и к выносу его из сооружений биологической очистки.

ЛОС ООО «Пепсико Холдингс»

Еще один интересный проект, выполненный по технологии «МУ МБР», – локальные очистные сооружения ООО «Пепсико Холдингс» (г. Домодедово Московской области), производительностью 3,3 тыс. м³/сут, которые запущены в эксплуатацию в 2017 г. Проектирование объекта выполнялось не только в рамках законодательства РФ, но и с учетом жёстких стандартов международной компании PepsiCo.

Общий вид локальных очистных сооружений представлен на рис. 5.

Рис. 3.
Значения ХПК поступающих сточных вод за 2017 г.

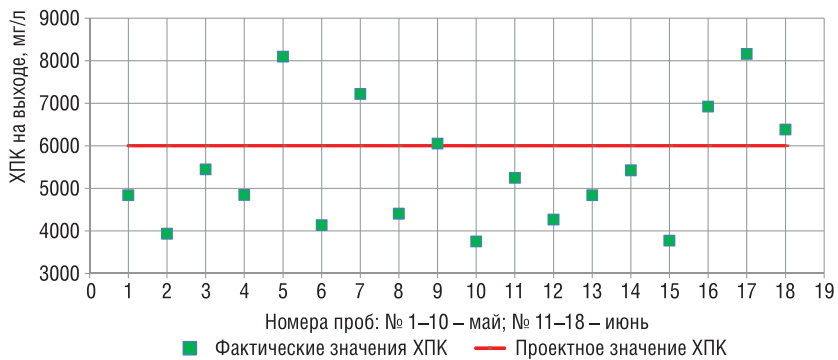


Рис. 4.
Значения ХПК очищенных сточных вод за 2017 г.

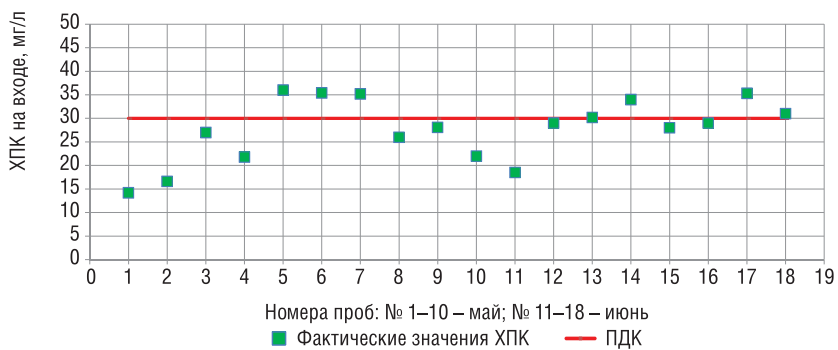


Рис. 5.
ЛОС ООО «Пепсико Холдингс»
(выделены красной рамкой)
в г. Домодедово





Рис. 6.

УПРОЩЕННАЯ ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ЛОС ООО «ПЕПСИКО ХОЛДИНГС»

Рис. 7.
ВЕРХНЯЯ ЧАСТЬ ВЕРТИКАЛЬНОЙ
ШНЕКОВОЙ РЕШЕТКИ



Технологическая схема ЛОС ООО «Пепсико Холдингс» приведена на рис. 6.

На этом объекте использован ряд интересных решений, на которых хотелось бы остановиться подробнее.

Предварительная механическая очистка сточных вод предусмотрена при помощи вертикальной шнековой решетки с прозором 6 мм (рис. 7).

Схема распределения потоков. По ходу движения очищаемой воды установлен анализатор ХПК, работающий в постоянном режиме (on-line). В случае превышения ХПК установленных значений поток считается высококонцентрированным и перенаправляется в аварийный резервуар для накопления и последующей равномерной в течение суток откачки в усреднитель. При значении ХПК ниже установленного значения сточные воды подаются в усреднитель. Аварийный резервуар и усреднитель по технологической схеме могут быть взаимозаменяемыми. Предусмотрена возможность контроля ХПК в напорных трубопроводах трех групп насосов: подачи не усредненного потока, концентрированного потока и усредненного потока.

Аварийный и усреднительный резервуары представляют собой цилиндрические утепленные крытые емкости (рис. 8), выполненные по технологии GFS (Glass-Fused-to-Steel). Листы, изготовленные по технологии GFS, состоят из двух слоев: основного металлического и физического связанного с ним стеклосодержащего покрытия, придающего резервуару коррозионную стойкость.

Рис. 8.
АВАРИЙНЫЙ И УСРЕДНИТЕЛЬНЫЙ
РЕЗЕРВУАРЫ



Анализ содержания биогенных элементов. Сточная вода предприятия характеризуется недостаточным для биологической очистки соотношением азота и фосфора к органическим загрязнениям, при этом оно не является постоянным и изменяется в значительных пределах. С учетом этого обстоятельства предусмотрен многопараметровый онлайн-анализатор, выполняющий одновременный анализ четырех параметров: аммонийного азота, нитритного азота, нитратного азота и ортофосфатов. Осуществляется подача на анализатор сточных вод из двух точек: усредненного потока после тонкой механической очистки и пермеата после МБР. Измерение содержания биогенных элементов выполняется попеременно в каж-

дом из двух потоков. По показаниям данного анализатора осуществляется автоматическое дозирование биогенных элементов в поток обрабатываемых сточных вод.

Для тонкой фильтрации в целях защиты мембранных кассет от засорения волокнистыми включениями и мелким мусором применено наклонное барабанное сито, изготовленное из треугольного профиля с прозором 1 мм.

Биореакторы. Биологическая очистка сточных вод осуществляется в двух параллельно работающих биореакторах с общим полезным объемом 3050 м³, представляющих собой цилиндрические утепленные крытые емкости, выполненные по технологии GFS (рис. 9).

Рис. 9.
БИОРЕАКТОРЫ (СПРАВА) НА ЛОС
ООО «Пепсико Холдингс»,
Домодедово





Рис. 10. Мембранные резервуары на ЛОС ООО «Пепсико Холдингс», г. Домодедово

В придонной части биореакторов размещена мелкопузырчатая аэрационная система на базе дисковых мембранных аэраторов AP-420T. В биореакторах реализован алгоритм обеспечения постоянной концентрации растворенного кислорода в автоматическом режиме. Сжатый воздух в биореакторы подается от двух частотно-регулируемых воздуховодов, установленных в отделении воздуховодной станции технологического корпуса ЛОС. В процессе проведения пусконаладочных работ максимальная доза активного ила в биореакторах составляла 14 г/л, в настоящее время доза поддерживается в пределах 9–11 г/л. Газы и пары, образующиеся в надводном пространстве биореакторов, отводятся на очистку на биофильтрах.

Блок мембранных резервуаров. Из биореакторов иловая смесь поступает в верхний канал мембранных резервуаров (рис. 10). Блок мембранных резервуаров – это многосекционная емкость из нержавеющей стали, состоящая из верхнего канала, трех параллельно работающих мембранных резервуаров и нижнего канала, она установлена в отделении ультрафильтрации технологического корпуса ЛОС.

В каждом из мембранных резервуаров установлены четыре ультрафильтрационные мембранные кассеты (всего 12 кассет в трех резервуарах), при этом предусмотрено место для установки резервной пятой кассеты ультрафильтрации на случай повышения расходов поступающих сточных вод при расширении предприятия. Общий вид мембранной кассеты представлен на рис. 11.

Количество мембранных кассет рассчитано для пропуска в форсированном режиме всего объема сточных вод через два параллельно работающих мембранных резервуара. Для предотвращения чрезмерного увеличения концентрации ила в мембранных резервуарах в результате отвода пермеата через мембраны предусмотрена рециркуляция иловой смеси с кратностью рециркуляции 400 % от расхода поступающих сточных вод. Периодичность отвода ила и объем удаляемого из мембранных резервуаров избыточного активного ила определяется автоматически.

Мембранная фильтрация. Узел мембранной ультрафильтрации представляет собой единый комплекс мембранного и насосного

оборудования, запорно-регулирующей арматуры и контрольно-измерительных приборов для организации процесса фильтрации через мембранные каскеты, отвода пермеата, осуществления обратной промывки, а также продувки мембранных каскетов.

На всасывающем трубопроводе пермеата установлен датчик давления/разрежения, а также сигнализатор – прерыватель высокого давления для предотвращения механического повреждения мембран сверхвысоким давлением.

В зависимости от расхода поступающих сточных вод система управления работой узлов мембранной ультрафильтрации автоматически изменяет уставку расхода вакуум-насосов пермеата с тем, чтобы уровень воды в мембранных резервуарах поддерживался постоянным. Помимо контроля расхода выполняется мониторинг трансмембранного давления. После окончания фильтроцикла следует фаза релаксации мембран: насос пермеата выключается, трансмембранное давление выравнивается, аэрация мембранных модулей остается включенной. В режиме релаксации происходит удаление отложений с поверхности мембранных волокон. После окончания релаксации мембран повторяется фильтроцикл.

В процессе обратной промывки пермеат поступает внутрь волокон и фильтруется наружу. Забор воды для обратной промывки осуществляется из резервуара чистой воды. Промывка, как и фильтрация, осуществляется насосом пермеата.

От каждой из трех напорных линий отвода пермеата предусмотрена подача воды к проточному датчику мутности и температуры. Вода из трех линий фильтрации пропускается через мутномер по очереди. Измерение мутности пермеата необходимо для контроля механической целостности мембранных волокон.

После очистки сточные воды сбрасываются в централизованную систему водоотведения МУП «Домодедовский Водоканал». Для обеспечения потребностей предприятия в технической воде предусмотрен узел подачи воды на повторное использование.



Рис. 11.
Монтаж мембранных каскетов на ЛОС
ООО «Пепсико Холдингс», г. Домодедово

Дозирование реагентов на этапе мембранной фильтрации. При достижении критического трансмембранного давления выполняется химическая промывка мембранных каскетов гипохлоритом натрия или лимонной кислотой. Гипохлорит натрия используется для удаления отложений органической природы, лимонная кислота – для удаления минеральных отложений. Гипохлорит натрия также служит в качестве обеззараживающего агента для части пермеата, возвращаемого на повторное использование. Дозирование гипохлорита натрия и лимонной кислоты происходит в автоматическом режиме.

ГЛАВНЫЙ КРИТЕРИЙ

Эффективность работы локальных очистных сооружений в Домодедово в период проведения пусконаладочных работ можно оценить по табл. 3.

Таблица 3.
Качество поступающих и очищенных сточных вод на ЛОС ООО «Пепсико Холдингс» в период пусконаладочных работ

Показатель	До очистки, мг/л	После очистки, мг/л
ХПК	806–2267	25,6–35,8
Азот аммонийный	0,60–1,75	0,08–0,23*
Фосфаты	0,8–2,7	0,3–0,4*

* Примечание: биогенные элементы добавляются дополнительно для осуществления биологической очистки.

Качество поступающих сточных вод на ООО «Пепсико Холдингс» по ХПК приведено на рис. 12. По большинству основных показателей качество поступающей воды соответствует проектным значениям.

Эффективность работы очистных сооружений при пусконаладочных работах оценивалась по концентрации ХПК на выходе из очистных сооружений (рис. 13).

Среднее удельное энергопотребление составило 4,4 кВт·час на 1 м³ обрабатываемых сточных вод, а энергопотребление на технологические нужды – около 600 кВт·час.

Проектом предусмотрено встраивание всего оборудования в единую SCADA-систему очистных сооружений с целью удаленного управления, сбора и централизованного хранения информации.

Автоматизированная система управления технологическим комплексом очистных сооружений, включая узел МБР, была разработана специалистами АО «МАЙ ПРОЕКТ». Управление очистными сооружениями возможно с автоматизированного рабочего места (АРМ) оператора, куда также сведены все сигналы от SCADA-системы о состоянии сооружений и данные с более чем сотни единиц контрольно-измерительных приборов.

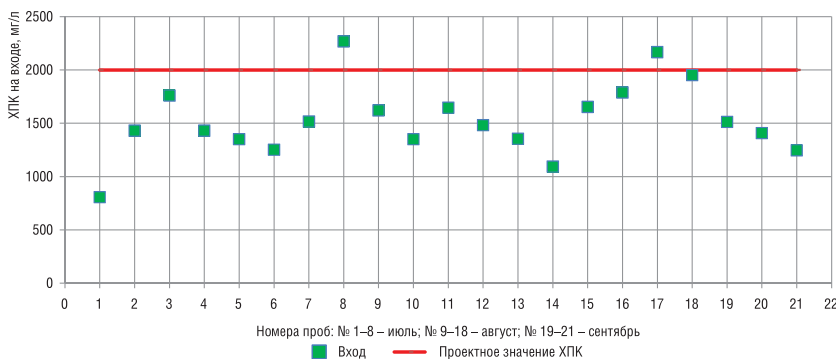


Рис. 12.
Значения ХПК поступающих сточных вод за 2017 г.

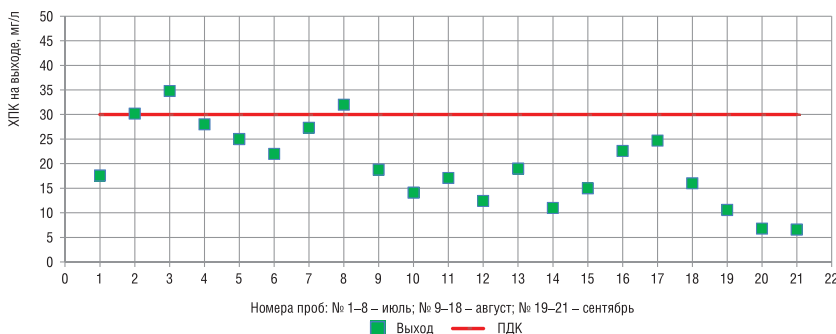


Рис. 13.
Значения ХПК очищенных сточных вод за 2017 г.



ПРЕИМУЩЕСТВА ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ «МУ MBR»

На описанных объектах компанией «МАЙ ПРОЕКТ» реализованы современные комплексы ЛОС, основанные на технических решениях «МУ MBR» с высоким уровнем автоматизации технологических процессов, обеспечивающих необходимое качество очистки сточных вод и выполнение современных требований к обработке осадков.

К основным преимуществам технических решений «МУ MBR», подтвержденных на отечественных объектах, следует отнести следующее:

- значительно меньшая занимаемая площадь по сравнению со схемами с вторичными отстойниками или реакторами периодического действия;
- постоянное надежное обеспечение очищенных сточных вод высокого качества; содержание взвешенных веществ в пределах 1–2 мг/л, ХПК – 35 мг/л, что недостижимо при использовании других технологий биологической очистки без использования третичной очистки;
- капитальные затраты на МБР соизмеримы затратам при классической очистке благодаря отсутствию вторичных отстойников, доочистки на фильтрах, уменьшению количества избыточного активного ила;
- высокий уровень автоматизации МБР, что позволяет уменьшить количество высококвалифицированного персонала;
- гибкость в компоновках сооружений и оборудования, выборе поставщиков технологического оборудования благодаря многолетним наработкам и собственным решениям по системам автоматизации всего комплекса сооружений.

Выводы

Применение мембранных биореакторов экономически оправдано при проектировании сооружений очистки высококонцентрированных сточных вод промышленных предприятий, для которых использование традиционных аэротенков с вторичными отстойниками не гарантирует достижения требуемого качества на сбросе. Применение технологии «МУ MBR» в высокой степени целесообразно при создании ЛОС в условиях ограниченной территории при расположении предприятий в черте города. ●

ЛИТЕРАТУРА

PIERRE CÔTÉ, DAVID BRINK AND ALI ADNAN. PRETREATMENT REQUIREMENTS FOR MEMBRANE BIOREACTORS, WATER ENVIRONMENT FOUNDATION, 2006, P. 1855.

DELGADO S., VILLARROEL R., GONZALEZ E., MORALES M. AEROBIC MEMBRANE BIOREACTOR FOR WASTEWATER TREATMENT – PERFORMANCE UNDER SUBSTRATE-LIMITED CONDITIONS. BIOMASS – DETECTION, PRODUCTION AND USAGE. 2011. P. 270.