



## Мембранные биореакторы: опыт применения в зарубежных странах

© Марина Геннадьевна Трухина, Наталья Дмитриевна Пельменёва

Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия  
Автор, ответственный за переписку: Трухина Марина Геннадьевна, [marina-trukhina.83@mail.ru](mailto:marina-trukhina.83@mail.ru)

**Аннотация.** Цель – исследование современных методов очистки сточных вод. Проблема очистки сточных вод во всем мире является актуальной и требует решения. Одним из эффективных методов очистки стоков стало применение на очистных сооружениях мембран, получивших название «мембранный биореактор» (МБР). В работе описаны особенности конструкции мембран, достоинства и недостатки технологии их применения. Рассмотрены примеры использования МБР на действующих предприятиях по очистке сточных вод в Германии, Италии и Швеции. Технология очистки сточных вод с помощью МБР, где используется фильтрация через микро- или ультрафильтрационные мембраны, – самая «молодая» в семье таких методов очистки и самая динамично развивающаяся. Она получила признание на мировом рынке. Высокие показатели качества очищенной воды обусловлены, в первую очередь, конструкцией МБР, способствующей повышению концентрации активного ила в биореакторе и фильтрующей способностью самой мембраны. За последние 100 лет современной очистки сточных вод для населения и предприятий не было внедрено ни одной другой новой технологии, дающей столько положительных эффектов. Благодаря широкому спектру доступных мембран и модулей можно найти технически подходящие системы практически для любого типа задач по очистке воды. Их актуальность также заключается в их малогабаритности, что является большим преимуществом при освобождении пространства для нового строительства или когда возможности расширения очистных сооружений ограничены.

**Ключевые слова:** активный ил, мембрана, пермеат, мембранный биореактор, МБР

**Для цитирования:** Трухина М. Г., Пельменёва Н. Д. Мембранные биореакторы: опыт применения в зарубежных странах // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 2. С. 224–231. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-2-224-231>.

### Original article

## Membrane bioreactors: foreign experience

Marina G. Trukhina, Natalia D. Pelmeneva

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia  
Corresponding author: Marina G. Trukhina, [marina-trukhina.83@mail.ru](mailto:marina-trukhina.83@mail.ru)

**Abstract.** This article addresses advanced methods of wastewater treatment, which presents an urgent global problem. The use of membranes or so-called membrane bioreactors (MBR) at treatment facilities comprises an efficient method of wastewater treatment. The characteristics of membrane designs along with their practical advantages and disadvantages are considered. Examples of using MBR at wastewater treatment plants in Germany, Italy and Sweden are examined. A recently developed MBR technology based on filtration through micro- or ultrafiltration membranes is gaining in popularity. In such technologies, the high quality of treated water is achieved due to the MBR design, which increases both the concentration of activated sludge in the bioreactor and its filtering capacity. Over 100 years of contemporary residential and industrial wastewater treatment, no other implemented technology has exhibited as many positive effects. Due to the wide range of available membranes and modules, suitable systems can be found for almost any type of water treatment application. In addition, these membranes are compact, which becomes an advantage when clearing areas for new construction or when the expansion of a wastewater treatment plant is limited.

**Keywords:** activated sludge, membrane, permeate, membrane bioreactor, MBR

**For citation:** Trukhina M. G., Pelmeneva N. D. Membrane bioreactors: foreign experience. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2022;12(2):224-231. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-2-224-231>.

## Введение

Применение активного ила уже не один век является основным методом очистки сточных вод от органических и биогенных загрязнений. Процесс биологической очистки от загрязнений предусмотрен самой природой. С момента своего появления биологическая очистка сточных вод претерпела ряд изменений, что позволило удалять не только органику, но и фосфор с азотом. Вместе с тем развитие данного метода привело к увеличению проблем, связанных с отделением активного ила на конечной стадии очистки сточных вод во вторичных отстойниках.

Одним из современных методов решения такой проблемы является применение ультрафильтрационных мембран или мембранных биореакторов (МБР). Известный еще с 70-х годов прошлого столетия метод получил свое интенсивное развитие лишь в последние 20–25 лет. Технология применения ультрафильтрационных мембран, получившая название мембранного биореактора, явилась следствием развития направления по замене гравитационного метода на фильтрационный. Мировой опыт эксплуатации МБР в промышленных масштабах в течение длительного времени (на ряде очистных сооружений – более 10 лет без замены мембран) показывает высокую надежность как оборудования, так и самой технологии. Мембранные технологии рассматриваются как одно из наиболее перспективных направлений развития биологической очистки городских сточных вод<sup>1</sup>.

## Методы

*Мембранный биореактор* – это комбинация традиционной биологической очистки и мембранного разделения иловой смеси, реализуемого на ультра- или микрофильтрационных мембранах. Размер пор таких мембран составляет от 0,01 до 0,1 мкм, что обеспечивает практически полное удаление всех взвешенных веществ и микроорганизмов. Для очистки бытовых сточных вод традиционно используется аэробный процесс, однако для очистки промышленных стоков применяют и анаэробные МБР [1, 2].

Мембраны изготавливают из полимеров (полиэтилена, полисульфона, полиакрилонитрила, поливинилхлорида и др.), а в ряде

случаев из неорганических материалов (оксиды Al, Ti, Zr и др.) [3].

В настоящее время совершенствуются давно сформировавшиеся три основные конструкции мембран:

- выносные трубчатые (применяются только в напорных системах);
- погружные половолоконные (используются в вакуумных системах);
- погружные полочные (применяются в вакуумных и самотечных системах).

Важнейшим условием работы мембран является удаление накопившегося на поверхности ила. Это осуществляется во всех конструкциях достаточно мощным потоком пузырьков воздуха различного размера, а также (не во всех) периодическим обратным импульсом фильтра наружу. Рано или поздно поры мембран и мембранное пространство зарастает органическими и неорганическими отложениями, что устраняется промывкой с применением окислительных реагентов и слабых кислот соответственно. Каждая промывка – это не только расход реагентов, но и шаг к старению мембраны, поэтому развитие метода идет в том числе в направлении минимизации промывок. Среди основных образований, загрязняющих мембраны, можно выделить органические молекулы, полиэлектролиты, кристаллы неорганических образований, формирующие из содержащихся в растворах ионов, коллоидные частицы и биологические организмы [4]. К основным проблемам, которые возникали в ходе развития технологии, можно отнести:

- высокий расход воздуха, а значит, электроэнергии на обдув мембран;
- значительную площадь, необходимую для размещения мембранных модулей;
- быстрый выход мембран из строя из-за частых химических промывок, обусловленных особенностями их конструкции и применения;
- необходимость обслуживания мембран с применением большого количества ручного труда;
- реальную возможность многократного сокращения срока службы мембран в результате некачественных действий персонала.

Наряду с недостатками мембранам присущи и определенные достоинства:

<sup>1</sup>Мембранные технологии для очистки сточных вод [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mosvodokanal.ru/forexperts/itc/embedded/8537> (11.02.2022).

– технология очистки дает возможность без отстаивания обеспечить высокое качество пермеата без доочистки;

– использование МБР дает возможность сократить общую площадь очистных сооружений на 20–50 %;

– в мембранных биореакторах не происходит выноса даже всплывшего ила с очищенной водой, так как частички ила в несколько раз больше размера фильтровальных пор;

– благодаря автоматизации существенно упрощается работа персонала, приводя к уменьшению его численности;

– использование мембран с размером пор 0,01–0,05 микрон полностью удаляет взвешенные вещества, некоторые макромолекулярные метаболиты, яйца паразитов, бактерии и некоторые вирусы. Такая очистка с последующим обеззараживанием ультрафиолетом дает возможность использовать очищенную сточную воду в не питьевых целях;

– увеличивается возраст активного ила до 15–20 суток;

– снижение влажности осадка после МБР уменьшает объем отводимого ила.

Кроме перечисленных преимуществ в применении мембранного биореактора для очистки любых сточных вод необходимо отметить следующее. После классического биореактора очищенная вода требует дополнительной фильтрации и обеззараживания. В настоящее время для обеззараживания очищенной сточной воды после классического биореактора используют добавление гипохлорита натрия или ультрафиолетовые лампы. Гипохлорит натрия вызывает необходимость использования сорбционных фильтров, а ультрафиолетовые лампы не дают необходимого эффекта обеззараживания. Мембранный биореактор решает данные проблемы с высокой степенью надежности [5, 6].

Применение современных мембранных технологий показывает, что энергопотребление на эксплуатацию мембранного блока – обдувку мембран и насосы откачки пермеата – составляет порядка 0,1 кВт\*час/м<sup>3</sup>, что сопоставимо с энергозатратами на перекачивание возвратного активного ила из вторичных отстойников в аэротенки и на работу сооружений доочистки при эксплуатации классических технологий, состоящих из аэротенка, вторичного отстойника и сооружений доочистки (фильтрации) [7].

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 [8].

### Результаты и их обсуждение

МБР в настоящее время являются наиболее активно развивающейся в мире технологией очистки и доочистки сточных вод. При этом около 80 % мембранных биореакторов для очистки городских сточных вод внедрены в странах Западной Европы и США, а также в Китае [7]. Нехватка водных ресурсов в странах Азии и Ближнего Востока и ужесточение нормативных требований к сточным водам, сбрасываемым в водные объекты Европы и Северной Америки, послужили ключевыми движущими силами в развитии технологии МБР, не считая уменьшения финансовых и эксплуатационных затрат.

Мембранные биологические реакторы получили определенное признание в мире, поскольку позволяют достигать стабильно высокого качества очистки, в том числе и от биогенных элементов, с одновременным сокращением объемов существующих сооружений.

При проектировании и эксплуатации нужно учитывать свойства мембран. К примеру, запрещено использовать открытые поверхности биореакторов (и прочих сооружений после сит) в районах со сменной сезонностью, т.к. продукты разложения опавшей с деревьев листвы могут засорить поверхность мембран. То же правило применимо и к тополиному пуху. Нужно предотвратить попадание любых включений, способных «армировать» фильтрующий слой мембраны. Принципиально обеспечить качественную биологическую очистку по БПК. Если показатель концентрации БПК<sub>5</sub> пермеата на выходе будет 15–20 мг/л, это приведет к постепенному образованию биопленки снаружи и внутри мембраны и к необходимости учащенных промывок. При соблюдении рекомендаций производителя по эксплуатации подтвержденный на объектах Европы срок использования мембран составляет около 10 лет [9–11]. Для сравнения ниже приведены несколько примеров применения МБР на действующих предприятиях по очистке сточных вод, расположенных на территории Германии, Италии и Швеции.

В небольшом городе Воффельсбах в Германии очистные сооружения (ОС) мощностью 1860 м<sup>3</sup>/сут работают по технологии мембранного биореактора уже с 2005 года. Очищенные стоки сбрасываются в озеро-водохранилище Рурзее – место отдыха, пользующееся спросом летом у жителей Германии. Отсутствие достаточных площадей и невозможность размещения станции очистки по классической

технологии стало основной причиной выбора мембранной технологии. Станцию обслуживают всего два человека. В зимние месяцы, когда температура входящей на сооружения воды падает ночью до 1 °С, за счет снижения водопотребления и больших расстояний от населенных пунктов станция бесперебойно обеспечивает очистку сточных вод. Но есть и определенные трудности. Из-за загрязнения мембран химические промывки, вместо заявленных производителем раз в квартал, вынуждены проводить каждые 10–15 дней. По причине недостаточного эффективного удаления осадка возникают «застойные» зоны на поверхности мембраны, куда не проникают пузырьки воздуха и свежие порции воды. Осадок на ней фактически обезвоживается за счет постоянного оттока воды через мембрану и образует плотную корку. По этой причине один раз на станции пришлось очистить мембраны от осадка и загрязнений вручную. Поочередно мембранные блоки из реактора извлекались, и каждая секция с плоскими мембранами промывалась вручную струями воды. В дополнение на станции установлены две ступени механических решеток – крупные и мелкие с прозорами 0,3 и 0,5 мм соответственно для защиты мембранных модулей от различного сора и включений [12].

Следующий пример внедрения МБР в Германии – станция Нордканал, мощность которой составляет 24 тыс. м<sup>3</sup>/сут. На ней предусмотрена трехстадийная биологическая очистка, включающая зону денитрификации, смешанную и аэробную зоны с установленными в последней мембранными блоками, где и происходит нитрификация. Размер пор мембраны составляет 0,4 мкм, а рабочее давление – 0,1–0,5 атм. Концентрация активного ила обеспечивается на уровне 12–15 г/л. Также технологическая схема предусматривает решетки с прозором 5 мм, аэрируемую песколовку и сетки 0,5 мм [12]. Показатели очищенной воды и сравнение их с требованиями норм приведены в таблице.

Далее рассмотрим очистные сооружения Филоттрано в Италии, где очистку сточных вод выполняют на МБР. Очистные сооружения работают с конца 2016 года и рассчитаны на 11 тыс. жителей. Приток сточных вод варьируется от 500 до 2 340 м<sup>3</sup>/сут в зависимости от сезонности. Применение МБР обусловлено очень сжатыми площадными характеристиками места расположения ОС, ограниченного с одной стороны склоном к водоему, а с другой – проезжей частью. В погодных условиях данного района все сооружения расположены под

навесом. Очистка воды происходит следующим образом. Стоки, пройдя решетку, поступают в приемный резервуар канализационной насосной станции, подаются насосами на сооружения предварительной механической очистки и уже потом поступают в биореакторы. Проектом предусмотрены 2 независимые линии биологической очистки, каждая из которых состоит из 2-х биореакторов объемом по 125 м<sup>3</sup> каждый и 2-х мембранных отделений объемом примерно по 100 м<sup>3</sup> каждое. В целом площадь использованных мембран составляет 9 240 м<sup>2</sup>. Среднесуточная расчетная нагрузка на мембрану заложена около 10 л/м<sup>2</sup> в час, но может быть увеличена при росте притока в течение суток. Температура сточных вод в дождливые дни зимой в центральной Италии составляет менее 10 °С. Особенностью ОС является реализация нитри-денитрификации с чередованием по времени и в пространстве аэробных и анаэробных условий. Основной объем биореактора работает от 1 до 1,20 часа как денитрификатор и всего около четверти часа – как нитрификатор. Управление переменной аэрацией происходит автоматически. Контроль концентрации иловой смеси в биореакторах и в мембранном отделении осуществляется автоматически при помощи специальных датчиков, она составляет около 5,5 г/л и 8,5 г/л соответственно.

Дополнительное обеззараживание не предусматривается, т.к. после прохождения через мембраны оно считается в Италии достаточным. В производственном помещении расположены еще восемь роторных воздуходувок и система химической промывки мембран. На каждое из восьми аэрируемых отделений приходится своя воздуходувка, которая работает не постоянно. Промывку, в свою очередь, проводят раз в квартал либо по предусмотренному графику [13]. Фактические показатели воды и требования норм к очищенной воде приведены в таблице. Из показателей таблицы видно, что качество воды весьма высокое. В Стокгольме при расширении двух крупных очистных сооружений канализации (ОСК) *Henriksdal* и *Himmerfjärden* (Швеция) были применены мембранные биореакторы.

Реконструкция ОС была вызвана необходимостью достижения требований качества очищенной воды при увеличении притока более чем вдвое, прежде всего, в связи с выросшими объемами сточных вод. Две крупные очистные станции объединили в одну, которая располагается в центре и обслуживает 1,6 млн жителей.

Нормативные требования и фактическое качество очищенной воды  
Regulatory requirements and actual treated water quality

Показатель	Требования, мг/л	Фактическое качество, мг/л	
		Филоттрано, Италия	Нордканал, Германия
БПК5	25	< 1	< 5
ХПК	125	< 10	< 25
Общий азот	10	< 5	0,1–2,0
Общий фосфор	1	< 0,05	< 0,5 мг/л

Канализационные очистные сооружения *Henriksdal* принимают сточные воды города Стокгольма и находятся в искусственной выемке в скале, возможности увеличения их площади нет. Единственным выходом стало повышение окислительной мощности сооружений, что и было реализовано с использованием технологии МБР с установкой мембранных модулей в ранее существовавших вторичных отстойниках. Общая площадь мембран составляет 1,6 млн м<sup>2</sup>, что делает очистные сооружения *Henriksdal* одними из крупнейших в мире МБР. С учетом исходных данных и нормативов качества очищенного стока мощность ОСК *Henriksdal* нужно было увеличить более чем вдвое к 2040 году. Площадь, занимаемая реактором непосредственно с мембранами, значительно меньше, чем площадь, занимаемая вторичными отстойниками. Внедрение МБР в границах существующих очистных сооружений дает возможность обеспечить достаточную гидравлическую мощность и повысить окислительную способность по органике. На основании технико-экономического обоснования в январе 2015 г. был представлен комплексный концептуальный проект увеличения производительности очистных сооружений. Очистные сооружения *Himmerfjärden* расположены в 30 км к югу от Стокгольма. Подвергались модернизации в процессе эксплуатации несколько раз, с целью соблюдения новых нормативов добавлялись новые процессы. В результате получился сложный многоступенчатый процесс с использованием нескольких видов реагентов и высоким потреблением энергии. *Himmerfjärden* не имел таких пространственных ограничений, как *Henriksdal*. Побудительной причиной выбора технологии МБР явились еще более жесткие в перспективе нормативы качества очищенного стока, возможность использования существующей инфраструктуры, а также необходимость сокращения количества ступеней. Для *Himmerfjärden* планомерно построили новые емкости. Для равномерного распределения ила в мембранном биореакторе и исключения накопления осадка в

мембранных резервуарах расход возвратного активного ила (ВАИ) должен быть в 2–5 раз больше входящего потока, т.е. многократно больше, чем в традиционной системе с вторичными отстойниками. Кроме того, в противоположность традиционной системе, в возвратном активном иле имеет место высокая концентрация растворенного кислорода. Это происходит в результате воздушного обдува мембран, который проводится против засорения и обрастания.

Целью проекта модернизации *Himmerfjärden* было снижение общего расхода рециркуляции в МБР при увеличении до максимума окислительной мощности при высокой дозе ила в иловой смеси в биореакторах. Кроме того, во внимание было принято повышение нагрузки на конструкцию сооружений и механическое оборудование вследствие необходимости использования больших внутренних рециклов при использовании модифицированного процесса нитри-денитрификации Лудзака – Эттингера. По этой причине была выбрана оптимизированная конфигурация МБР, сочетающая преимущества процесса ступенчатой денитрификации с дробной подачей сточной воды с технологией мембранного биореактора. В процессе ступенчатой денитрификации с дробной подачей сточной воды исходная вода каскадно подается в биореактор, создавая градиент концентрации ила. Таким образом, средняя концентрация ила в реакторе в целом выше, чем в последней части каскада. На очистных сооружениях *Henriksdal* и *Himmerfjärden* применено первичное отстаивание, последующее процеживание на ступенчатых решетках и песколовки. Последней ступенью механической очистки является процеживание через мелкочаеистые сита для удаления волос и волокон, которые могут повредить мембраны [14]. Применение МБР-технологии обеспечивает на очистных сооружениях *Henriksdal* и *Himmerfjärden* практически полное удаление взвешенных веществ из сточных вод, что свидетельствует об эффективности процесса.

## Заключение

### Выводы:

1. Основное достоинство МБР – малогабаритность при высоком качестве очищаемой воды. Выведение ряда сооружений из состава очистных сооружений и компактная расстановка оборудования в установке МБР сокращает площадь, занимаемую непосредственно очистными сооружениями, на 20–50 %.

2. Интенсификация процесса биологической очистки и выведение из технологической схемы вторичного отстаивания, а также этапа доочистки сокращает площадь очистных сооружений в 1,5–2 раза. Очень часто этот фактор оказывается решающим при проектировании очистных сооружений в стесненных условиях городской застройки или на сложном рельефе местности.

3. Органические загрязнения, содержащиеся в сточных водах в виде коллоидов и

растворенных веществ, удаляются на 95–98 % сооружениями биологической очистки с мембранными биореакторами. Размер пор ультрафильтрационных мембран обеспечивает 100 % удаление взвешенных веществ и других загрязнений размером более 0,01–0,05 микрон, а также практически полное обеззараживание сточных вод за счет удаления бактерий и вирусов, что соответствует нормам сброса в водоем рыбохозяйственного назначения.

4. С точки зрения температурных и гидравлических условий рекомендуется применение МБР на промстоках, для которых температура существенно выше и, как правило, используется хорошее усреднение расхода.

5. Серьезные финансовые затраты на эксплуатацию мембранных биореакторов оправданы высоким качеством очистки сточных вод.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Новиков Г. А., Didrikh D. Новый класс мембранных биореакторов на основе модулей Альфа Лаваль // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. 2020. № 4. С. 36–46.
2. Кривень А. П. Реализация проектов с внедрением мембранных технологий для очистки сточных вод // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. 2014. № 1. С. 16–20.
3. Стрелков А. К., Базарова А. О. Анализ методов очистки масложировых компонентов сточных вод // Молодежь и наука: мат-лы междунар. науч.-практ. конф. старшеклассников, студентов и аспирантов (Нижний Тагил, 29 мая 2020 г.). Нижний Тагил, 2020. С. 271–273.
4. Apel P. Yu, Velizarov S., Volkov A. V., Eliseeva T. V., Nikonenko VV, Parshina AV, et al. Fouling and Membrane Degradation in Electromembrane and Baromembrane Processes // Membranes and Membrane Technologies. 2022. Vol. 4. p. 69-92. <https://doi.org/10.1134/S2517751622020032>.
5. Тарди Г. М., Бакош В., Йоббаги А. Режимы и технологии биологической очистки сточных вод в Венгрии / пер. Ж. Н. Барановской, адапт. и коммент. Д. А. Даниловича // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. 2018. № 4. С. 53–62.
6. Гладкова Е. В., Демьянова Ю. В., Николаева А. М., Кутузов Д. К. Использование мембранного биореактора в очистке сточных вод // Вестник РГАЗУ. 2013. Ч. 2. С. 39–48.
7. Очистка сточных вод от биогенных элементов с помощью мембранных биореакторов

[Электронный ресурс] // Вода Magazine. 2015. № 1 (89). URL: <https://watermagazine.ru/nauchnye-stati2/novye-stati/23744-ochistka-stochnykh-vod-ot-biogennykh-elementov-s-pomoshchyu-membrannykh-bioreaktorov.html> (11.02.2022).

8. Есин М. А., Ромашко А. В. Отечественный опыт реализации мембранных биореакторов по технологии «MY MBR» для очистки производственных сточных вод // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. 2017. № 6. С. 24–35.

9. Мембранные биореакторы и тканевые фильтры: опыт применения // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. 2019. № 3. С. 60–61.

10. Данилович Д. А. Развитие мембранных биореакторов для очистки сточных вод // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. 2017. № 6. С. 22–23.

11. Грошиков М. А., Арменинов С. А., Тиханова Е. В. Очистка сточных вод с помощью мембранных биореакторов // Экология производства. 2014. № 4. С. 50–56.

12. Андрианов А. Особенности и перспективы применения мембранных биореакторов для очистки сточных вод [Электронный ресурс] // Вода Magazine. 2012. № 6 (58). URL: <https://watermagazine.ru/analitika/obzori/24121-osobennosti-i-perspektivy-primeneniya-membrannykh-bioreaktorov-dlya-ochistki-stochnykh-vod.html> (11.02.2022).

13. Данилович Д. А. Современные технологии очистки сточных вод в Италии: полезный опыт //

Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. 2019. № 3. С. 62–71.  
14. Андерссон С., Эк П., Берг М., Грунденстам И., Линдблом Е. Расширение двух крупных очистных сооружений канализации в

Стокгольме с применением мембранных биореакторов / пер. Ж. Н. Барановской; науч. ред. Д. А. Даниловича, О. В. Харьковской // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. 2019. № 6. С. 52–62.

**REFERENCES**

1. Novikov GA, Didrikh D. A new class of membrane bioreactors based on Alfa Laval modules. *Nailuchshie dostupnye tekhnologii vodosnabzheniya i vodootvedeniya*. 2020;4:36-46. (In Russ.).
2. Kriven' AP. Implementation of projects with the introduction of membrane technologies for wastewater treatment. *Nailuchshie dostupnye tekhnologii vodosnabzheniya i vodootvedeniya*. 2014;1:16-20. (In Russ.).
3. Strelkov AK, Bazarova AO. Analysis of methods for treating oil and fat components of wastewater. *Molodezh' i nauka: mat-ly mezhdunar. nauch.-prakt. konf. starsheklassnikov, studentov i aspirantov* (Nizhnii Tagil, 29<sup>th</sup> May 2020). Nizhnii Tagil, 2020. p. 271-273. (In Russ.).
4. Apel PYu, Velizarov S, Volkov AV, Eliseeva TV, Nikonenko VV, Parshina AV, et al. Fouling and Membrane Degradation in Electromembrane and Baromembrane Processes. *Membranes and Membrane Technologies*. 2022;4:69-92. <https://doi.org/10.1134/S2517751622020032>.
5. Tardy GM, Bakos V, Jobbágy A. Conditions and technologies of biological wastewater treatment in Hungary. *Nailuchshie dostupnye tekhnologii vodosnabzheniya i vodootvedeniya*. 2018;4:53-62. (In Russ.).
6. Gladkova EV, Dem'yanova YuV, Nikolaeva AM, Kutuzov DK. Use of membrane bioreactor in wastewater treatment. *Vestnik RGAZU*. 2013;2:39-48. (In Russ.).
7. Wastewater treatment from biogenic elements using membrane bioreactors. *Voda Magazine*. 2015. № 1 (89). Available from: <https://watermagazine.ru/nauchnye-stati2/novye-stati/23744-ochistka-stochnykh-vod-ot-biogennykh-elementov-s-pomoshchyu-membrannykh-bioreaktorov.html> [Accessed 11 February 2022]. (In Russ.).
8. Esin MA, Romashko AV. Domestic experience in the implementation of membrane bioreactors using the MY MBR technology for industrial wastewater treatment. *Nailuchshie dostupnye tekhnologii vodosnabzheniya i vodootvedeniya*. 2017;6:24-35. (In Russ.).
9. Membrane bioreactors and fabric filters: application experience. *Nailuchshie dostupnye tekhnologii vodosnabzheniya i vodootvedeniya*. 2019;3:60-61. (In Russ.).
10. Danilovich DA. Development of membrane bioreactors for wastewater treatment. *Nailuchshie dostupnye tekhnologii vodosnabzheniya i vodootvedeniya*. 2017;6:22-23. (In Russ.).
11. Groshikov MA, Armeninov SA, Tikhanova EV. Wastewater treatment with membrane bioreactors. *Ekologiya proizvodstva*. 2014;4:50-56. (In Russ.).
12. Andrianov A. Features and prospects for the use of membrane bioreactors for wastewater treatment. *Voda Magazine*. 2012. № 6 (58). Available from: <https://watermagazine.ru/analitika/obzori/24121-osobennosti-i-perspektivy-primeneniya-membrannykh-bioreaktorov-dlya-ochistki-stochnykh-vod.html> [Accessed 11 February 2022]. (In Russ.).
13. Danilovich DA. Modern wastewater treatment technologies in Italy: useful experience. *Nailuchshie dostupnye tekhnologii vodosnabzheniya i vodootvedeniya*. 2019;3:62-71. (In Russ.).
14. Andersson S., Ek P., Berg M., Grundestam J., Lindblom E. Extension of two large wastewater treatment plants in Stockholm using membrane technology. *Nailuchshie dostupnye tekhnologii vodosnabzheniya i vodootvedeniya*. 2019;6:52-62. (In Russ.).

**Информация об авторах****М. Г. Трухина,**

студент,  
Иркутский национальный исследовательский  
технический университет,  
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,  
Россия,  
e-mail: marina-trukhina.83@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-2897-8177>

**Information about the authors****Marina G. Trukhina,**

Student,  
Irkutsk National Research Technical University,  
83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia,  
e-mail: marina-trukhina.83@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-2897-8177>

**Н. Д. Пельменёва,**  
доцент, декан факультета среднего профессионального образования,  
Иркутский национальный исследовательский технический университет,  
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,  
Россия,  
<https://orcid.org/0000-0001-5602-2426>

**Natalia D. Pelmeneva,**  
Associate Professor, Dean of the Faculty  
of Secondary Vocational Education,  
Irkutsk National Research Technical University,  
83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia,  
<https://orcid.org/0000-0001-5602-2426>

#### **Вклад авторов**

Трухина М. Г., Пельменёва Н. Д. имеют равные авторские права. Трухина М. Г. несет ответственность за плагиат.

#### **Contribution of the authors**

Trukhina M. G., Pelmeneva N. D. have equal author's rights. Trukhina M. G. bears the responsibility for plagiarism.

#### **Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### **Conflict of interests**

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

The final manuscript has been read and approved by the co-authors.

Статья поступила в редакцию 22.03.2022.  
Одобрена после рецензирования 20.04.2022.  
Принята к публикации 21.04.2022.

The article was submitted 22.03.2022.  
Approved after reviewing 20.04.2022.  
Accepted for publication 21.04.2022.