

УДК 628.168:628.35

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ МИКРО- И УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИИ НА СТАДИЯХ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ И ДООЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

НЕЧИТАЙЛО Н. П. ^{1*}, к.т.н, доц.,
НАГОРНАЯ Е. К. ^{2*}, к.т.н.

^{1*} Кафедра водоснабжения, водоотведения и гидравлики, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 46-93-64, e-mail: n_np@i.ua. ORCID ID: 0000-0001-5963-0590

^{2*} Кафедра водоснабжения, водоотведения и гидравлики, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 46-93-64, e-mail: ek_n@i.ua. ORCID ID: 0000-0003-4027-9336

Аннотация. Цель. На сегодняшний день остро стоит вопрос использования водных ресурсов в различных странах мира, в том числе и в Украине. Это связано с различными факторами – изменением погодных условий, истощением водоносных горизонтов, изменением качества воды в источниках водоснабжения, снижением запасов пресной воды. Целью данной работы является поиск новых более совершенных, эффективных методов очистки сточных вод, позволяющих получить максимально возможный эффект очистки по БПК, ХПК, соединениям азота и фосфора, извлекать и утилизировать полезные компоненты, предотвратить загрязнение водоемов и свести к минимуму потребление свежей воды. **Методика.** Предложена альтернативная технология доочистки сточных вод от фосфатов на модифицированных ультрафильтрационных напорных мембранах. При этом для модификации поверхности используется оксихлорид алюминия, который дозируется во время работы установки, что позволяет связывать фосфаты и поддерживать образовавшийся модифицированный слой в равновесии. Альтернативой технологии биологической очистки с многоступенчатой доочисткой является мембранно-биологическая технология с использованием мембранного биореактора. **Результаты.** Снижение диаметра пор позволяет более эффективно удалять биогенные элементы и при постоянном дозировании коагулянта также повышается эффективность удаления фосфатов. Модификация поверхности осуществляется путем гелеобразования на поверхности мембраны по принципу кристаллизации с образованием твердой фазы, выделяющейся из раствора, подаваемого на мембрану. Оптимальный диапазон дозирования коагулянта был экспериментально определен в пределах от 15 до 30 мг/л. **Научная новизна.** Предложенная технология доочистки сточных вод на основе модифицированных ультрафильтрационных напорных мембранах позволяет эффективно удалять биогенные элементы, а при постоянной подаче раствора коагулянта обеспечить удаление фосфатов. **Практическая значимость.** Полученный метод доочистки может быть рекомендован для применения на станциях обработки сточных вод с полной биологической очисткой, которые работают на неполное окисление органических веществ.

Ключевые слова: мембранные биореакторы, ультрафильтрационная мембрана, доочистка сточных вод

ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ МІКРО- ТА УЛЬТРАФІЛЬТРАЦІЇ НА СТАДИЯХ БІОЛОГІЧНОЇ ОЧИСТКИ ТА ДООЧИСТКИ СТИЧНИХ ВОД

НЕЧИТАЙЛО М. П. ^{1*}, к.т.н, доц.,
НАГОРНА О. К. ^{2*}, к.т.н.

^{1*} Кафедра водопостачання, водовідведення та гідраліки, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, +38 (0562) 46-93-64, e-mail: n_np@i.ua. ORCID ID: 0000-0001-5963-0590

^{2*} Кафедра водопостачання, водовідведення та гідраліки, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, +38 (0562) 46-93-64, e-mail: ek_n@i.ua. ORCID ID: 0000-0003-4027-9336

Анотація. Мета. На сьогоднішній день гостро стоїть питання використання водних ресурсів у різних країнах світу, в тому числі і в Україні. Це пов'язано з різними чинниками - зміною погодних умов, виснаженням водоносних горизонтів, зміною якості води в джерелах водопостачання, зниженням запасів прісної води. Метою даної роботи є пошук нових більш досконалих, ефективних методів очищення стічних вод, що дозволяють отримати максимально можливий ефект очищення за БПК, ХПК, сполукам азоту і фосфору, витягувати й утилізувати корисні компоненти, запобігти забрудненню водоймищ і звести до мінімуму споживання свіжої води. **Методика.** Запропонована альтернативна технологія доочищення стічних вод від фосфатів на модифікованих ультрафільтраційних напірних мембранах. При цьому для модифікації поверхні використовується оксихлорид алюмінію, який дозується під час роботи установки, що дозволяє зв'язувати фосфати і підтримувати модифікований шар, що утворився, в рівновазі. Альтернативною технологією біологічного очищення з

багатоступеневим доочищенням є мембранно-біологічна технологія з використанням мембранного біореактора. **Результати.** Зниження діаметра пір дозволяє більш ефективно видаляти біогенні елементи і при постійному дозуванні коагулянту також підвищується ефективність видалення фосфатів. Модифікація поверхні здійснюється за рахунок гелеутворення на поверхні мембрани за принципом кристалізації з утворенням твердої фази, яка виділяється з розчину, що подається на мембрану. Оптимальний діапазон дозувань коагулянту було експериментально визначено в межах від 15 до 30 мг / л. **Наукова новизна.** Запропонована технологія доочищення стічних вод на основі модифікованих ультрафільтраційних напірних мембранах дозволяє ефективно видаляти біогенні елементи, а при постійній подачі розчину коагулянту забезпечити видалення фосфатів. **Практична значимість.** Отриманий метод доочистки може бути рекомендований для застосування на станціях обробки стічних вод з повною біологічною очисткою, які працюють на неповне окислення органічних речовин.

Ключові слова: мембранні біореактори, ультрафільтраційна мембрана, доочистка стічних вод

APPLICATION OF MICRO- AND ULTRAFILTRATION AT THE STAGE BIOLOGICAL TREATMENT, TERTIARY SEWAGE TREATMENT

NECHITAILO M.P. ^{1*}, *Cand. Sc. (Tech.), Associate Prof.*,
NAGORNAYA H. K. ^{2*}, *Cand. Sc. (Tech.)*

^{1*} Department of Water Supply, Water Disposal and Hydraulics, State Higher Education Establishment «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 46-93-64, e-mail: n_np@i.ua, ORCID ID: 0000-0001-5963-0590

^{2*} Department of Water Supply, Water Disposal and Hydraulics, State Higher Education Establishment «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 46-93-64, e-mail: ek_n@i.ua, ORCID ID: 0000-0003-4027-9336

Abstract. Purpose. Today is an issue of water resources in various countries around the world, including in Ukraine. This is due to various factors - changes in weather conditions, the depletion of aquifers, water quality changes in the sources of supply, reduction of freshwater. The aim of this work is to find new, more modern, efficient wastewater treatment, allowing to obtain the best possible cleaning effect on the BOD, COD, nitrogen and phosphorus compounds, retrieve and dispose of useful components to prevent water pollution and to minimize the consumption of fresh water. **Methodology.** An alternative technology tertiary sewage treatment of phosphates on the modified ultrafiltration membranes pressure. When this is used for the surface modification of aluminum oxychloride, which is dispensed during operation of the plant, that allows to bind phosphate and the resulting modified support layer in equilibrium. An alternative technology with multi-stage biological treatment is additional purification membrane biological technology using a membrane bioreactor. **Findings.** Decrease in pore diameter allows for more efficient removal of nutrients and constant dosing coagulant also increases the efficiency of the removal of phosphates. Surface modification is accomplished by gelling at the membrane surface on the basis of crystallisation to form a solid phase, precipitating from the solution applied to the membrane. Optimal coagulant dosage range was experimentally determined in the range of 15 to 30 mg / l. **Originality.** The proposed technology tertiary sewage treatment on the basis of modified ultrafiltration pressure membranes can effectively remove nutrients, and a constant supply of coagulant solution to ensure the removal of phosphates. **Practical value.** The resulting method of post-treatment can be recommended for use in wastewater treatment plants with full biological treatment, which run on the partial oxidation of organic substances.

Keywords: membrane bioreactors, the ultrafiltration membrane, tertiary treatment of wastewater

Введение

Большинство станций очистки сточных вод на Украине построены 25 – 30 лет назад, многие из них за период эксплуатации ни разу не подвергались капитальному ремонту, замене элементов систем аэрации и требуют срочной реконструкции. При этом работающие сооружения не справляются с проектными задачами и не обеспечивают необходимого качества очистки сточных вод. Как правило, станции аэрации городов кое-как эксплуатируют сооружения биологической очистки,

получая на выходе проблемы либо в виде недостаточного эффекта очистки по БПК либо завышенных показателей азота и фосфора, не имеют построенных сооружений доочистки сточных вод, а там где они есть – сталкиваются с проблемой дополнительного загрязнения сточных вод перед выпуском в водоем в связи с неэффективной работой этих сооружений.

На сегодняшний день остро стоит вопрос использования водных ресурсов в различных странах мира, в том числе и в Украине. Это связано с различными факторами – изменением погодных

условий, истощением водоносных горизонтов, изменением качества воды в источниках водоснабжения, снижением запасов пресной воды. Все чаще и чаще вопросом экономии воды задаются отдельные потребители. Работающие очистные сооружения сталкиваются со снижением общего расхода сточных вод и повышением концентрации загрязнений по основным показателям, а очистка сточных вод по-прежнему осуществляется на имеющихся сооружениях. Качество получаемых стоков на выходе – мастерство опытного технолога станции, но даже оно не спасает нас от неудовлетворительного качества сточных вод перед выпуском в водоем - происходит нарушение экосистемы водоема, видоизменяются состав и свойства воды, забираемой из источника на нужды водопотребления.

Цель

Целью данной работы является поиск новых более совершенных, эффективных методов очистки сточных вод, позволяющих получить максимально возможный эффект очистки по БПК, ХПК, соединениям азота и фосфора, извлекать и утилизировать полезные компоненты, предотвратить загрязнение водоемов и свести к минимуму потребление свежей воды.

Одним из таких методов являются мембранные технологии микро- и ультрафильтрации, применяемые как в сочетании с классической технологией биологической очистки (мембранные биореакторы), так и на стадии доочистки.

Методика

Мембранные биореакторы применяются для очистки бытовых сточных вод и сточных вод различных отраслей промышленности [4, 6, 13-15]. Микро- и ультрафильтрационные мембраны с размером пор 0,01 мкм и 0,1 мкм соответственно удаляют из сточных вод коллоидные частички, взвешенные частички, макромолекулы, микроорганизмы, бактерии [1, 2, 5, 9].

Повышенные дозы активного ила при комбинированной мембранно-биологической очистке (8 – 12 г/л) позволяют производить очистку в режиме низких нагрузок, обеспечивая стабильное качество очистки и устойчивый к внешним факторам биоценоз активного ила. Основная часть активного ила представлена медленно растущей микрофлорой – возраст ила мембранного биореактора составляет 25-70 сут. и более, что приводит к значительному снижению прироста ила. Кроме того, размер хлопьев ила меньше, чем в аэротенках, поэтому площадь контакта микроорганизмов со сточными водами увеличивается, эффективность сорбции активными илом инертных веществ, тяжелых металлов, микрозагрязнителей повышается. Степень очистки сточных вод в мембранном биореакторе составляет

по БПК – 98,7 – 99,7 %, ХПК – 80 – 90 %, азоту аммонийному – 98,5 – 99,8 % [3, 11, 14].

Применяются как аэробные [3, 6, 7, 10-15] так и анаэробные [8, 9] мембранные биореакторы в двух основных модификациях: с внутренним и внешним расположением мембран. При использовании анаэробных мембранных биореакторов дополнительным преимуществом является получение биогаза.

На сегодняшний день, несмотря на множество экспериментальных исследований и большое количество работающих установок, одним из открытых вопросов является моделирование процесса массопереноса в мембранных биореакторах, загрязнение пор мембраны и ее очистка [3, 11, 12].

Классический метод удаления фосфора из сточных вод заключается во введении 15-17 мг/л Al_2O_3 в сточные воды после вторичных отстойников при содержании до 15 мг/л взвешенных веществ. При этом происходит удаление порядка 75-80 % общего фосфора. При последующем фильтровании этот эффект повышается до 90 %. С ростом концентрации взвеси до 30-36 мг/л эффект обработки при той же дозе коагулянта снижается до 50 %. Это объясняется тем, что значительная часть фосфора содержится во взвешенных веществах, которые в основном обусловлены выносом активного ила из вторичных отстойников.

Проведенные исследования по вводу осаждающих реагентов на различных стадиях обработки стоков выявили ряд негативных последствий. Они связанных в первую очередь с подавлением жизнедеятельности микроорганизмов в аэротенках, а также накоплением алюминия в избыточном активном иле, что является существенным недостатком. Как показал опыт эксплуатации на действующих очистных сооружениях, реагентное удаление фосфора оказалось не столь эффективным как при лабораторных исследованиях. Это объясняется тем, что существует масса отклоняющих факторов, влияющих на прохождение процесса. Также стоит отметить, что данная технология не исключает реконструкции очистных сооружений для удаления азотосодержащих биогенных элементов.

В табл. 1 приведены данные по извлечению основных загрязнений муниципальных сточных вод на различных стадиях обработки.

Таблица 1

Извлечение основных загрязнений из муниципальных сточных вод / Removing the main contaminants from municipal wastewater

Вид очистки	Расчетные показатели удаления, %			
	БПК ₅	Взвешенные вещества	Общий азот	Общий фосфор
Механическая	≥30	≥60	≥15	≥15
Механическая с коагуляцией	55-70	80-90	75-90	25-35
Традиционная биологическая	90	≥90	5-10	≥30

Авторами предлагается альтернативная технология доочистки сточных вод от фосфатов на модифицированных ультрафильтрационных напорных мембранах. Данное технологическое решение может быть использовано в качестве доочистки сточных вод после полной биологической очистки вместо песчаных фильтров или после них, что позволит снизить нагрузку на мембрану по взвешенным веществам. При этом для модификации поверхности используется оксихлорид алюминия, который дозируется во время работы установки, что позволяет связывать фосфаты и поддерживать образовавшийся модифицированный слой в равновесии. Известно, что при применении ультрафильтрационных модулей для доочистки стоков в напорном режиме, они работают только по

удалению взвешенных веществ, а по органическим соединениям снижение практически не происходит.

Для проверки теоретических предположений о возможности доочистки сточных вод на модифицированной ультрафильтрационной мембране по извлечению биогенных элементов из очищенных биологическим способом сточных вод были проведены натурные испытания на полупромышленной установке.

Для проведения экспериментального исследования была разработана установка на основе промышленной полуволоконной мембраны с площадью активной поверхности 5 м².

Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1.

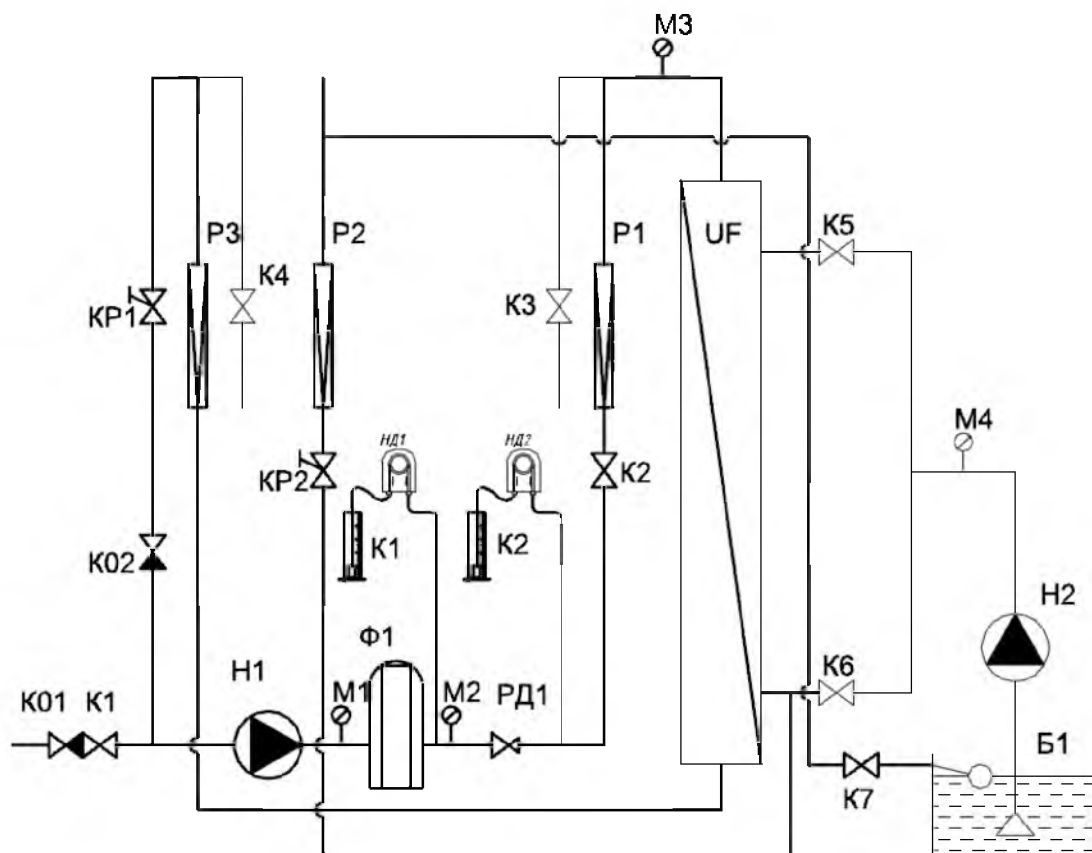


Рис. 1. Схема экспериментальной установки / Scheme of experimental installation : КО1, КО2 - клапана обратные; К1, К2, К3, К4, К5, К6, К7- краны шаровые; Н1- насос подачи воды; Н2 – насос подачи промывной воды; М1, М2, М3, М4 - манометры; Ф1- фильтр дисковый; РД1 – редуктор давления; Р1, Р2, Р3 – ротаметры; UF- мембрана ультрафильтрации; КР1, КР2 - клапана регулирования расхода на подаче и рециркуляции; Б1 - бак запаса промывной воды; НД1 - насос дозатор коагулянта; НД 2 – насос дозатор флокулянта; КМ1, КМ2 колба мерная.

В качестве управляющих факторов в эксперименте было принято рабочее давление перед мембраной, циркуляционный расход над поверхностью мембраны, расход реагентов, межрегенерационный период, длительность циклов промывки мембраны и удельный расход на промывку. В качестве выходных факторов учитывалось качество воды, удельный расход воды на 1 м² поверхности мембраны. В качестве

возмущающих факторов было принято отклонение качества воды в источнике, изменение температуры.

Результаты

На первой стадии эксперимента была проведена модификация поверхности мембраны путем пропускания воды с постоянным дозированием в нее оксихлорида алюминия, что позволило уменьшить

диаметр пор и придать новые свойства поверхности мембраны.

Было сделано предположение, что снижение диаметра пор позволяет более эффективно удалять биогенные элементы, и при постоянном дозировании коагулянта также повышается эффективность удаления фосфатов. Модификация поверхности объясняется теорией гелеобразования на поверхности мембраны. Гелеобразование на поверхности мембраны происходит по принципу кристаллизации с образованием твердой фазы, выделяющейся из раствора, подаваемого на мембрану.

Основной эксперимент заключался в определении рабочих характеристик модифицированной ультрафильтрационной мембраны. Для этого сточную воду после вторичных отстойников пропускали через стандартный полуволоконный модуль. Вода после вторичных отстойников очистных сооружений содержит следующие концентрации загрязнений: по БПК₅ - 12-20 мгО₂/л; по NO₃ - 45-50 мг/л; по NO₂ - 2,3-2,6 мг/л; PO₄ - 15-17 мг/л, взвешенные вещества 15-20 мг/л.

Дозировка реагентов осуществлялась ступенчатым повышением дозировки по Al²⁺ от 5 мг/л до 40 мг/л при трансмембранном перепаде 10 м.в.с. и удельном расходе 60-120 л/м² ч. Так в процессе проведения эксперимента было установлено, что при дозировке 25 мг/л по Al²⁺ происходит снижение по всем показателям: по БПК₅ до 1 мгО₂/л; по NO₃ - 10 мг/л; по NO₂ - 0,6 мг/л; PO₄ - 0,02 мг/л, взвешенные вещества не определяются. Дальнейшее повышение дозировки реагента до 40 мг/л по Al²⁺ не повлияло на концентрации нитратов и нитритов. Поэтому оптимальный диапазон дозирования коагулянта был экспериментально определен в пределах от 15 до 30 мг/л.

Научная новизна и практическая значимость

Изучены физико-химические закономерности процессов очистки сточных вод при помощи модифицированных полуволоконных мембран.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Брик М. Т. Энциклопедія мембран: У 2 т. – Київ: ВД «Києво-Могилянська академія», 2005. – Т. 1. – 658 с.
2. Брик М. Т. Encyclopedia membrane : U 2 t. [Encyclopedia membranes : In 2 vol.]. – Kyiv, Kyiv-Mohyla Academy Publ., 2005. – Vol. 1. – 658 p.
3. Брик М. Т. Ультрафільтрація / М. Т. Брик, Е. А. Цапюк. – Київ : Наук. думка, 1989. – 288 с.
4. Брик М. Т., Зарюк Е. А. Ultrafiltraziya [Ultrafiltration]. - Kyiv, Scientific Thought Publ., 1989. – 288 p.
5. Киристеаев А. В. Очистка сточных вод в мембранном биореакторе : автореф. дис. на соискание научн. степени

Разработано новое технологическое решение по доочистке сточных вод на проточных аппаратах.

Использование технологии доочистки сточных вод позволяет эффективно удалять биогенные элементы, а при постоянной подаче раствора коагулянта обеспечить удаление фосфатов.

Мембранные технологии в сочетании с биологической очисткой в искусственно созданных условиях обеспечивают надежность и стабильность работы станции очистки сточных вод при высоких показателях качества очищенной воды. Применение мембранных биореакторов при проектировании и реконструкции существующих очистных сооружений приведет к значительному сокращению их площадей, увеличению глубины очистки сточных вод, уберет проблему вспухания ила.

Выводы

1. Мембранные технологии являются эффективными методами очистки сточных вод различного состава. Совмещение технологий микро- и ультрафильтрации с классической технологией биологической очистки позволяет повысить качество очистки сточных вод, сократить количество элементов станции аэрации и их объем, снизить объем избыточного активного ила, а также свести к минимуму сброс сточных вод в водоем в связи с возможностью их повторного использования.
2. Предложенная технология доочистки сточных вод на основе модифицированных ультрафильтрационных напорных мембран позволяет эффективно удалять биогенные элементы, а при постоянной подаче раствора коагулянта обеспечить удаление фосфатов.
3. При проведении экспериментальных исследований при очистке хозяйственно-бытовых сточных вод была определена оптимальная доза коагулянта 15 – 30 мг / л по Al²⁺.
4. Полученный метод доочистки может быть рекомендован для применения на станциях обработки сточных вод с полной биологической очисткой, которые работают на неполное окисление органических веществ.

канд. техн. наук : спец. 05.23.04 «Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов» / А. В. Киристеаев. – Москва, 2008. – 27 с.

Kyrystayev A. V. Ochistka stochnyuch vod v membrannom bioreaktore [Wastewater treatment in a membrane bioreactor] : Thesis abstract on scientific degree of candidate of technical sciences : specialty 05.23.04 «Water, sanitation, building systems of protection of water resources». - Moscow, 2008. – 27 p.

4. Свойства динамических мембран при ультрафильтрационной очистке воды от урана / Л. И. Руденко, О. В. Джужа, В. Е. Хан, С. И. Ковальчук // Доповіді Національної академії наук України, 2007. - № 6. С. 139 – 143.

Rudenko L. I., Dzhuzha O. V., Han V. E., Kovalchuk S. I. Svoystva dinamicheskikh membrane pri ultrafiltrazionnoy oshistke vody ot urana [Dynamic properties of ultrafiltration membranes in water purification from uranium]. Dopovidi Natsionalnoi akademii Sciences of Ukraine. – 2007. - № 6. P. 139 – 143.

5. Трунов П. В. Особенности процесса очистки сточных вод в погружных мембранных биореакторах / П. В. Трунов // Коммунальное хозяйство городов : науч.-техн. сборник / Харьк. нац. ун-т гор. хоз-ва им. А.Н. Бекетова. – Харьков, 2010. – Вып. 93. – С. 133 – 137.

Trunov P. V. Osobennosti prozessa oshistky stochnykh vod v pogruzhnykh membrannykh bioreaktorah [Features of the wastewater treatment process in submerged membrane bioreactors]. Municipal services of the cities : nauch.-technical. Sbornik / Kharkiv National University of Municipal Economy behalf of A. N. Beketov. - Kharkov, , 2010. – No. 93. – P. 133 – 137.

6. Abeynayaka A. Thermophilic aerobic membrane bioreactor for industrial wastewater treatment : A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Engineering in Environmental Engineering and Management/ A. Abeynayaka ; Asian Institute of Technology, School of Environment, Resources and Development, Thailand. – 2009. – 106 p.

Abeynayaka A. Thermophilic aerobic membrane bioreactor for industrial wastewater treatment : A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Engineering in Environmental Engineering and Management, Asian Institute of Technology, School of Environment, Resources and Development, Thailand, 2009. 106 p.

7. Aerobic Membrane Bioreactor for Wastewater Treatment – Performance Under Substrate-Limited Conditions / S. Delgado, R. Villarroel, E. Gonzalez, M. Morales // Biomass – Detection, Production and Usage. – Spain, 2011. - P. 265-288.

Delgado S., Villarroel R., Gonzalez E., Morales M. Aerobic Membrane Bioreactor for Wastewater Treatment – Performance Under Substrate-Limited Conditions : Biomass – Detection, Production and Usage, Spain, 2011. P. 265-288.

8. Chang S. Anaerobic Membrane Bioreactors (AnMBR) for Wastewater Treatment / S. Chang // Chemical Engineering and Science, Canada, 2014. – P. 56-61.

Chang S. Anaerobic Membrane Bioreactors (AnMBR) for Wastewater Treatment. Chemical Engineering and Science, Canada, 2014. P. 56-61. <http://dx.doi.org/10.4236/aces.2014.41008>

9. Do A. Anaerobic Membrane Bioreactor (AnMBR) for Treatment of Landfill Leachate and Removal of Micropollutants : A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy / Anh T. Do ; University of South Florida, USA. - South Florida, 2011. – 195 p.

Do A. Anaerobic Membrane Bioreactor (AnMBR) for Treatment of Landfill Leachate and Removal of

Micropollutants : A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy. University of South Florida, USA, 2011. 195 p.

10. Jyoti J. Application of Membrane-Bio-Reactor in Waste-Water Treatment: A Review / J. Jyoti, D. Alka, S. J. Kumar // International Journal of Chemistry and Chemical Engineering, 2013. - Vol. 3, no 2. - P. 115-122.

Jyoti J., Alka D., Kumar S. J. Application of Membrane-Bio-Reactor in Waste-Water Treatment: A Review. International Journal of Chemistry and Chemical Engineering, 2013. Vol. 3, no 2. P. 115-122.

11. Membrane Bioreactor (MBR) as an Advanced Wastewater Treatment Technology / J. Radjenovic, M. Matosic, I. Mijatovic, M. Petrovic, D. Barcelo // Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008. - Vol. 5, Part S/2. – P. 37–101.

Radjenovic J., Matosic M., Mijatovic I., Petrovic M., Barcelo D. Membrane Bioreactor (MBR) as an Advanced Wastewater Treatment Technology. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008. Vol. 5, Part S/2. P. 37–101.

12. Peng J. Mathematical Modeling of Hollow-fiber Membrane System in Biological Wastewater Treatment / J. Peng, G. Xue // Systemics, Cybernetics and Informatics, Canada, 2013. – Vol. 4, no. 1. – P. 47-52.

Peng J., Xue G. Mathematical Modeling of Hollow-fiber Membrane System in Biological Wastewater Treatment. Systemics, Cybernetics and Informatics, Canada, 2013. Vol. 4, no. 1. P. 47-52.

13. Recalcitrant industrial wastewater treatment by membrane bioreactor (MBR) / F. I. Hai, K. Yamamoto, F. Nakajima, K. Fukushi // Handbook of Membrane research: Properties, Performance and Applications, New York : Nova Science Publishers, 2010. – P. 67-104.

Hai F. I., Yamamoto K., Nakajima F., Fukushi K. Recalcitrant industrial wastewater treatment by membrane bioreactor (MBR). Handbook of Membrane research: Properties, Performance and Applications, New York : Nova Science Publishers, 2010. - P. 67-104.

14. Sayed S. K. I. Treatment of potato processing wastewater using a membrane bioreactor / S. K. I. Sayed, K. H. El-Ezaby, L. Groendijk // Ninth International Water Technology Conference IWTC9 2005, Sharm El-Sheikh, Egypt. – Egypt, 2005. P. 53-68.

Sayed S. K. I., El-Ezaby K. H., Groendijk L. Treatment of potato processing wastewater using a membrane bioreactor. Ninth International Water Technology Conference IWTC9 2005, Sharm El-Sheikh, Egypt, 2005. P. 53-68.

15. Treatment of food industry wastewaters in membrane bioreactor / H. K. Jakopovic, M. Matošic, T. Ecimovic, I. Mijatovic // Zagreb. – 11 p.

Jakopovic H. K., Matošic M., Ecimovic T., Mijatovic I. Treatment of food industry wastewaters in membrane bioreactor. Zagreb. – 11 p. http://bib.irb.hr/datoteka/414552.Korailija_Jakopivic_et_al.pdf

Статья рекомендована к публикации д-ром.техн.наук, проф. В. Н. Деревянко (Украина); д-ром.техн.наук, проф. Н. Н. Беляевым (Украина)

Поступила в редколлегию 23.03.2015

Принята к печати 23.03.2015