

УДК 628.168

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛИАКРИЛОВОЙ КИСЛОТЫ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ОСАДКООБРАЗОВАНИЯ В БАРОМЕМБРАННЫХ ПРОЦЕССАХ

НЕЧИТАЙЛО Н. П.<sup>1</sup>, *к.т.н, доц.*КОСЮК Е. Н.<sup>2</sup>, *асп.*РЕШЕТНЯК Д. А.<sup>3</sup>, *студ.*

<sup>1</sup> кафедра водоснабжения, водоотведения и гидравлики, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, г. Днепр, Украина, тел. +38 (0562) 47-02-79, e-mail: n\_np@mail.ru

<sup>2</sup> кафедра водоснабжения, водоотведения и гидравлики, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, г. Днепр, Украина, тел. +38 (0562) 47-02-79, e-mail: evgeniykosuk1992@gmail.com

<sup>3</sup> кафедра водоснабжения, водоотведения и гидравлики, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, г. Днепр, Украина, тел. +38 (0562) 47-02-79, e-mail: dashka\_reshetnyak@mail.ru

**Аннотация. Цель.** Решение проблем минерального и биологического осадкообразования в системах обратного осмоса. Исследование антискаланта на основе полиакриловой кислоты. Для предотвращения загрязнения и нормализации работы мембранных установок. Получение зависимости дозировки используемого реагента от жесткости поступающей воды. Определение оптимальных дозировок для бесперебойной работы мембранных установок. **Методика.** Методика эксперимента основана на увеличении общей жесткости в концентрате в зависимости от результативности работы обратноосмотической мембраны и качества исходной воды. **Результаты.** Применение антискаланта на основе полиакриловой кислоты является эффективным способом предотвращения осадкообразования в баромембранных процессах. Дозировки антискаланта на основе полиакриловой кислоты необходимы значительно ниже, чем антискаланта на основе фосфоновых кислот. **Практическая значимость.** Полученное уравнение аппроксимации имеет широкое практическое применение для определения необходимой дозировки антискаланта для системы обратного осмоса.

*Ключевые слова:* соли, обратный осмос, ингибиторы осадкообразования.

## ВИКОРИСТАННЯ ПОЛІАКРИЛОВОЇ КИСЛОТИ ДЛЯ ПОПЕРЕДЖЕННЯ ОСАДОУТВОРЕННЯ У БАРОМЕМБРАННИХ ПРОЦЕСАХ

НЕЧИТАЙЛО М. П.<sup>1</sup>, *к.т.н, доц.*КОСЮК Є. М.<sup>2</sup>, *асп.*РЕШЕТНЯК Д. А.<sup>3</sup>, *студ.*

<sup>1</sup> кафедра водопостачання, водовідведення та гідравліки, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24 - а, 49600, м. Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 47-02-79, e-mail: n\_np@mail.ru

<sup>2</sup> кафедра водопостачання, водовідведення та гідравліки, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24 - а, 49600, м. Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 47-02-79, e-mail: evgeniykosuk1992@gmail.com

<sup>3</sup> кафедра водопостачання, водовідведення та гідравліки, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24 - а, 49600, м. Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 47-02-79, e-mail: dashka\_reshetnyak@mail.ru

**Анотація. Мета.** Вирішення проблем мінерального і біологічного осадкуутворення у системах зворотнього осмосу. Дослідження антискаланта на основі поліакрилової кислоти. Для запобігання забруднення і нормалізації роботи мембранных установок. Отримання залежності дозування використовуваного реагенту від жорсткості води, що поступає. Визначення оптимальних доз для роботи мембранных встановити. **Методика.** Методика експерименту заснована на збільшенні загальної жорсткості в концентраті в залежності від результативності роботи зворотноосмотичної мембрани і якості вихідної води. **Результати.** Застосування антискаланта на основі поліакрилової кислоти є ефективним способом запобіжників осадкообразования в баромембранного процесів. Дозування антискаланта на основі поліакрилової кислоти необхідні значно нижче, ніж антискаланта на основі фосфонових кислот. **Практична значимість.** Отримане рівняння апроксимації має широке практичне застосування для визначення необхідного дозування антискаланта для системи зворотнього осмосу.

*Ключові слова:* солі, зворотний осмос, інгібітори осадкуутворення.

## POLYACRYLIC ACID USE TO PREVENT SEDIMENTATION IN BAROMEMBRANE PROCESSES

NECHITAYLO N. P.<sup>1</sup>, *Cand. Sc. (Tech.), Ass. Prof.*,  
KOSYUK E. N.<sup>2</sup>, *PhD stud.*,  
RESHETNYAK D. A.<sup>3</sup>, *stud.*

<sup>1</sup> Department of Water supply, Sewerage and Hydraulics, State higher educational establishment the "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", Chernyshevskogo st., 24-a, 49600, Dnepr, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-02-79, e-mail: n\_np@mail.ru

<sup>2</sup> Department of Water supply, Sewerage and Hydraulics, State higher educational establishment the "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", Chernyshevskogo st., 24-a, 49600, Dnepr, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-02-79, e-mail: evgeniykosuk1992@gmail.com

<sup>3</sup> Department of Water supply, Sewerage and Hydraulics, State higher educational establishment the "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", Chernyshevskogo st., 24-a, 49600, Dnepr, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-02-79, e-mail: dashka\_reshetnyak@mail.ru

**Annotation.** Purpose study antiscalant polyacrylic acid. Getting the dosage depending on the reagent used, the hardness of the incoming water. **Methods.** The experimental procedure is based on the increase in the overall stiffness of the concentrate, depending on the effectiveness of the reverse osmosis membrane, and the quality of the source water. **Results.** Application antiscalant based on polyacrylic acid is an effective way to prevent sedimentation in baromembrane processes. Antiscalant dosage based on polyacrylic acid is almost 10 times less than antiscalant based phosphonic acids. **Practical significance.** This equation approximation has wide practical application.

*Keywords:* salt, reverse osmosis, sedimentation inhibitors.

### Введение

Мембранные технологии являются реальной альтернативой традиционным технологиям подготовки питьевой и промышленной воды. Высокая надежность сооружений водоподготовки за счет использования мембран позволяет произвести глубокую очистку поверхностных, подземных и промышленных вод от загрязняющих веществ до показателей, удовлетворяющих требованиям по сбросу очищенных стоков в природные водоемы всех категорий, а также обеспечить высокую микробиологическую безопасность очищенных стоков[1].

Удельные затраты на обработку воды мембранами не только стали сопоставимы с традиционными методами, но и неуклонно снижаются, так как на 20 – 30 % снижается площадь, занимаемая фильтрационным оборудованием в связи с отсутствием необходимости в громоздком реагентном хозяйстве. Кроме того, при применении фильтрующих блоков из полволоконных мембранных модулей за счет уменьшения количества монтируемого оборудования снижаются затраты на строительно-монтажные работы в среднем на 20 %, что также позволяет создавать передвижные комплексы для очистки воды в зонах чрезвычайной ситуации. Высокая и легко достигаемая степень автоматизации технологического процесса позволяет значительно — до 50—80 % экономить на эксплуатационных затратах за счет уменьшения обслуживающего персонала[2].

Одной из проблем при использовании мембранных методов очистки воды является образование осадка на поверхности мембраны. Для уменьшения этого отрицательного явления используются добавки, снижающие скорость образования отложений и делающие их структуру более удобной для удаления [3]. Эти добавки получили название ингибиторы осадкообразования или антискаланты. Необходимый эффект достигается при относительно небольшой их концентрации. Тип и количество антискаланта зависит от состава примесей воды, определяющего вид отложений. В настоящее время наиболее распространенной практикой определения эффективности антискалантов является длительная эксплуатация стеновых или промышленных мембранных установок в заданном режиме со снятием зависимости снижения проницаемости мембраны во времени [4].

Существенным фактором, ограничивающим применение обратного осмоса, является наличие в исходных водах, как в поверхностных и артезианских, так и в водопроводной, различных загрязнений. Для удаления органических веществ можно использовать метод ультрафильтрации, более глубокое удаление органических веществ было предложено автором [5] эта работа показывает возможность предотвращения органических и биологических загрязнений. В RO-процессе поток исходной воды делится на два потока: прошедший через мембрану пермеат и оставшийся над мембраной концентрат. При этом существенно изменяется состав потоков. Поток пермеата составляет 75-80% от потока исходной воды, но содержит менее 1% растворенных

веществ. Соответственно, поток концентрата составляет 20-25% от потока исходной воды с концентрацией растворенных веществ в 3-4 раза больше, чем в исходной воде [6]. Эти загрязнения, главным образом минеральные соли, способны привести к осадкообразованию на мембранах, которое ведет к резкому ухудшению эксплуатационных характеристик мембранных установок. Причины загрязнения мембран определяются физико-химическими и поверхностными свойствами самой мембраны и частиц загрязняющей фазы. Взвешенные микрочастицы оседают преимущественно на первой секции мембранных элементов, а солевые отложения – на последней, где их концентрация в 3-4 раза выше, чем в исходной воде и велика вероятность превышения предела растворимости. Биологическое загрязнение может начинаться в любой точке мембранной установки и быстро распространиться по всему мембранному контуру. Снижения воздействия ионов кальция и магния (жесткость), железа и марганца, сульфатов и карбонатов, которые в большинстве случаев вызывают осадкообразование, можно добиться, применяя особые химические композиции – антискаланты (ингибиторы осадкообразования), которые при добавлении в исходную воду в малых концентрациях позволяют защитить мембраны от осадкообразования.

Антискалант предназначен для ингибирования отложений солей в мембранных системах очистки воды. Обеспечивает продление срока службы мембран за счёт существенного уменьшения осаждения на поверхности мембран солей кальция и магния (карбонатов, сульфатов и фосфатов). Использование ингибитора осадкообразования (антискаланта) позволяет минимизировать вероятность образования нежелательных отложений на мембранах. Механизм работы реагентов-ингибиторов отложения солей достаточно сложен. Считается, что наиболее эффективными ингибиторами являются те, молекулы которых покрывают микрокристаллические ядра образующегося осадка, замедляя их рост и удерживая их в растворе во взвешенном состоянии. Это обусловлено свойством насыщенных растворов запускать реакцию осадкообразования на «активных центрах кристаллизации», расположенных в том числе и на поверхности мембранного элемента. В основе этого процесса лежит более легкое энергетическое взаимодействие частиц с такими центрами, чем с «обычной» поверхностью. Некоторые ингибиторы, напротив, мало препятствуют кристаллизации солей, но видоизменяют форму кристаллов и препятствуют их дальнейшему росту, в результате чего, прочность образуемого осадка значительно снижается. Это ускоряет деструктивные процессы, происходящие как в процессе работы мембранного элемента, так и во время химических промывок.

Для достижения максимальной эффективности использования антискалантов и минимизации расхода реагентов и снижения пагубного влияния на экологию необходимо определить необходимый тип реагента и точную дозировку для каждого конкретного случая в зависимости от типа обрабатываемой воды и параметров протекания процесса. В свою очередь, необходимым условием правильного выбора необходимых реагентов и их дозировок есть четкое понимание физико-химических показатели, которые зависят в основе действия этих реагентов [1].

Ингибиторы, получившие наиболее широкое распространение, состоят из основы - растворов кислот или щелочей, поверхностно-активных веществ (ПАВ) и комплексообразователей. Долгое время для ингибирования процессов осадкообразования в установках обратного осмоса использовали неорганические полифосфаты и подкисление соляной или серной кислотой.

Однако жесткие экологические требования по содержанию фосфатов в сбрасываемом в дренаж концентрате лимитируют использование полифосфатов. Более того, полифосфаты склонны к гидролизу. Образование ортофосфатов может привести к дополнительным осадкам на поверхности мембраны.

Более эффективными антискалантами являются фосфоросодержащие комплексоны – фосфонаты, которые способны ингибировать осадкообразование при больших значениях карбонатной жесткости и pH, что позволяет полностью отказаться от подкисления.

Механизм действия фосфоновых кислот основан на явлении порогового эффекта. При введении ингибитора в воду, образуются устойчивые комплексы с ионами кальция, которые за счет дипольного момента адсорбируются на поверхности зародышей кристалла.

Из числа фосфонатов наибольшее распространение в качестве антискалантов получили производные нитрилотриметилфосфоновой (НТФ) и оксиэтилиденди-фосфоновой кислоты (ОЭДФ).

НТФ и ее производные более активны в плане ингибирования осадкообразования на поверхности мембраны, чем ОЭДФ; удельный расход НТФ существенно ниже за счет наличия в структуре аминогруппы.

Особый интерес представляют смеси фосфоновых кислот. Так же установлено, что использование смеси ОЭДФ и НТФ значительно эффективней, чем отдельных компонентов. Это может быть объяснено явлением синергизма, как взаимного усиления компонентов антискаланта, приводящего к превышению их ингибиторного аддитивного эффекта.

При высоком содержании в воде соединений кремния эффективность применения кислотных антискалантов значительно снижается. При

низком значении рН растворимость кремния минимальна. Поэтому использование щелочного антискаланта позволяет повысить растворение кремнесоединений и предотвратить образования геля на поверхности мембраны.

Среди недостатков ОЭДФ и НТФ следует отметить их нестабильность в гипохлоридных средах. По этой причине для предотвращения биологического загрязнения мембранных элементов рекомендуется использовать биоциды неокислительного типа [7].

В данное время большое распространение получают реагенты на основе полимеров. Основным представителем этого класса является полиакриловая кислота и другие производные акриловой кислоты. Для этой группы ингибиторов в определенной степени свойственен пороговый эффект и эффект диспергирования, а также деформационный эффект в следствии полимерного строения.

Явление деформации кристаллов свойственно для полимерных ингибиторов. [7] Для начала процесс протекает за механизм, похожим на механизм порогового эффекта: на начальном этапе имеет место адсорбция активных центров функциональных групп полимерной цепочки поверхностью кристалла. В дальнейшем в следствии адсорбции процесс роста кристалла

изменяется. Включения в кристаллическую решетку новых ионов из объема раствора приводит к искаженному росту кристалла, но, в отличии от порогового эффекта, которые созданы полимерной цепочкой. В следствии влияния этой цепочки на рост кристалла происходит накопление избыточной энергии, которая проявляется в виде деформации кристаллической решетки. В итоге силы деформации достигают критического значения и это приводит к тому, что кристалл разрушается с большим количеством обломков.

### Цель

Данная работа посвящена изучению решения проблемы ингибирования осадкообразования в баромембранных установках. Автором был изучен антискалант на основе сополимеров акриловой кислоты производства ООО «ХИМИЧЕСКАЯ ФАБРИКА «ОСНОВА», г. Днепр OSM 413, который выпускается в соответствии с ТУ У 20.5-38433478-002:2016. Целью исследования было получение закономерностей изменения качественных показателей концентра от дозировки вводимого реагента.

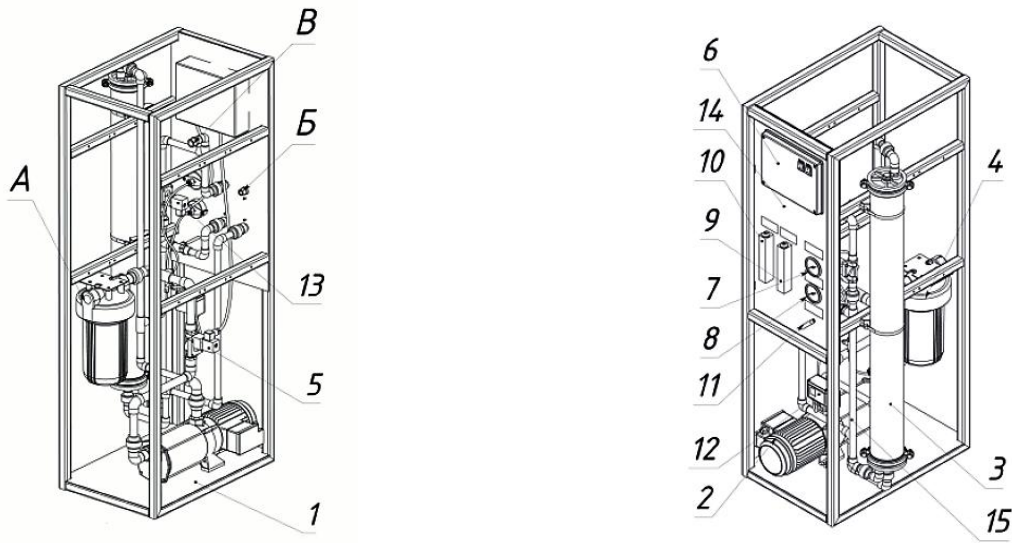


Рис. 1 Схема обратноосмотической установки /Driving a reverse osmosis installation

- 1 – компактная рама / compact frame; 2 – насос высокого давления / high-pressure pump;  
 3 – мембранодержатель с мембраной / a casing membrane;  
 4 – механический фильтр предварительной очистки / mechanical pre-filter;  
 5 – клапан на входе / the valve inlet; 6 – панель управления / control panel;  
 7 – манометр давления на входе / a pressure gauge at the inlet;  
 8 – манометр давления на насосе / pressure gauge on the pump;  
 9 – ротаметр концентрата / flowmeter concentrate; 10 – ротаметр пермеата / permeate rotameter;  
 11 – регулятор концентрата / concentrate regulator; 12 – реле давления / pressure switch;  
 13 – клапан промывки / flushing valve; 14 – лицевая панель / the front pane  
 15 – трубы высокого давления / high-pressure pipes.

### Методика эксперимента

Эксперименты проводились на обратноосмотической установке, схема которой представлена на рисунке 1, в лаборатории ООО «ХИМИЧЕСКАЯ ФАБРИКА «ОСНОВА», г. Днепр.

Методика эксперимента основана на увеличении общей жесткости в концентрате в зависимости от результативности работы обратноосмотической мембраны и качества исходной воды.

При правильной дозировке антискаланта должно выполняться следующее условие:

$$Ж(к) = \frac{Ж(исх) \cdot Q(исх)}{Q(к)} \quad (1)$$

где:

Ж(к) – требуемая общая жесткость концентрата, мг-экв/л;

Ж (исх) - общая жесткость исходной воды, мг-экв/л;

Q (к) – расход концентрата, м<sup>3</sup>/час;

Q (исх) – расход исходной воды, м<sup>3</sup>/час.

Технические характеристики обратноосмотической установки представлены в таблице 1.

Таблица №1

#### Технические характеристики обратноосмотической мембраны / Technical characteristics of reverse osmosis membrane

№	Наименование параметра	Единицы измерения	Значение
1	Расход поступающей воды	л/мин	20
2	Расход очищенной воды	л/мин	10
3	Расход концентрата	л/мин	10
4	Давление на входе мембраны	МПа	0,55
5	Давление после мембраны	МПа	0,5
6	Перепад давления на мембране	МПа	0,05

В качестве модульного раствора использовали 30% водный раствор кальция хлористого CaCl<sub>2</sub>, который дозировали при помощи насоса-дозатора DLX MA/MB 01-15 в трубопровод исходной воды. Испытания проводились при жесткости поступающей воды на установку в интервале от 1,5

до 14 мг-экв/л. Продолжительность эксперимента – 24 часа.

Положительным результатом является выполнение условия (1) на 95 %.

### Экспериментальные результаты и их обсуждение

В результате проведенных экспериментов была получена закономерность изменения качественных показателей концентрата (жесткости воды) от дозировки вводимого реагента.

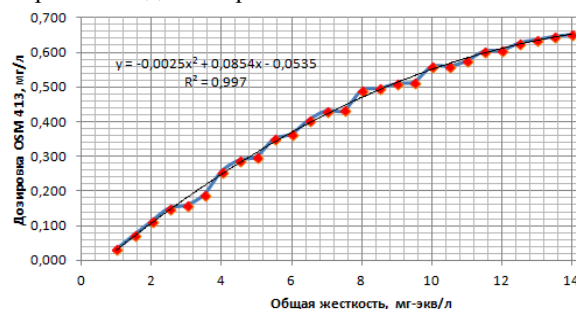


Рис. 2. Результаты экспериментов. Зависимость дозировки OSM 413 от жесткости поступающей воды / The results of the experiments. Dependence dosage OSM 413 of the incoming water hardness.

Во время проведения экспериментов перепадов давления на мембране зафиксировано не было.

Кривая зависимости дозировки OSM 413 от жесткости поступающей воды при величине достоверности аппроксимации R<sup>2</sup>=0,997 описывается уравнением квадратной параболы.

$$D_{413} = -0,0025J^2 + 0,0854J - 0,0535$$

где:

J - общая жесткость исходной воды, мг-экв/л;

D<sub>413</sub> - дозировка OSM 413, мг/л.

### Выводы

- применение антискалантов на основе полиакриловой кислоты является эффективным способом предотвращения осадкообразования в баромембранных процессах;
- дозировки антискалантов на основе полиакриловой кислоты почти в 10 раз меньше, чем антискалантов на основе фосфоновых кислот;
- полученное уравнение аппроксимации имеет широкое практическое применение.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бойко Н. И., Одарюк В. А., Сафонов А. В. [Boyko N. I., Odaryuk V. A. and Safonov A. V.]. *Применение мембранных технологий в очистке воды* [Primeneniye membrannyih tehnologiy v ochildke vodyi] // Технологии гражданской безопасности, 2014. – С. 67-69 [Tehnologii grazhdanskoj bezopasnosti, 2014. – S. 67-69].
2. Баландина А. Г., Ханнильдин Р. И., Ибрагимов В. А., Матряшева В. А. [Balandina A. G., Hannildin R. I., Ibragimov V. A. and Matryasheva V. A.]. Развитие мембранных технологий и возможность их применения для очистки сточных вод предприятий [Razvitie membrannyih tehnologiy i vozmozhnost ih primeneniya dlya ochildki stochnyih vod predpriyatiy] //

Электронный журнал Нефтегазовое дело – №5 – 2015. – С. 336-375[Elektronnyy zhurnal Neftegazovoe delo – #5 – 2015. – S. 336-375].

3. Н. Френк, И. Кеммер [N. Frenk and I. Kemmer]. Книга Налко о воде, 2-е изд. [Kniga Nalko o vode, 2-e izd.] // Изд. McGraw-Hill Book Company, 2007. – С. 503-516[Izd. McGraw-Hill Book Company, 2007. – S. 503-516].

4. Первов А. Г. [Pervov A. G.]. Разработка и внедрение мембранной обратноосмотической технологии в области водоподготовки [Razrabotka i vnedrenie membrannoy obratnoosmaticheskoy tehnologii v oblasti vodopodgotovki] // Автореферат диссертации д. т. н. М: 1997. – 59с[Avtoreferat dissertatsii d. t. n. M: 1997. – 59s].

5. Нечитайло Н. П. [Nechitaylo N. P.] Научное обоснование нанесения бактерицидного динамического слоя на поверхность ультрафильтрационной мембраны при очистке природных вод[Nauchnoe obosnovanie naneseniya bakteritsidnogo dinamicheskogo sloya na poverhnost ultrafiltratsionnoy membrany pri oshistke prirodnykh vod] // Научно-Образовательное Содружество «Evolutio.Технические и прикладные науки» Ежемесячный научный журнал №2, 2016 – С. 11-13[Nauchno-Obrazovatelnoe Sodruzhestvo «Evolutio.Tehnicheskie i prikladnyie nauki» Ezhemesyachnyiy nauchnyiy zhurnal #2, 2016 – S. 11-13].

6. Федоренко В.И. [Fedorenko V.I.]. Ингибирование осадкообразования в установках обратного осмоса [Ingibirovanie osadkoobrazovaniya v ustanovkakh obratnogo osmosa] // Критические технологии. Мембраны – № 2 (18) – 2003 [Kriticheskie tehnologii. Membranyi – # 2 (18) – 2003].

7. Орестов Є. О., Мітченко. Т. Є. [Orestov Ye. O. and Mitchenko. T. Ye]. Фізико-хімічні основи дії інгібіторів флоумінг мембран зворотного осмосу та шляхи їхнього оптимального використання[Fizyko-khimichni osnovy dii inhibitoriv flouminh membran zворотного osmosu ta shliakhy yikhnoho optimalnoho vykorystannia] // Вода і водоочисні технології. Науково-технічні вісті – №2 (12) – 2013[Voda i vodoochysni tekhnologii. Naukovo-tehnichni visti – №2 (12) – 2013].

## REFERENCES

1. Boyko N. I., Odaryuk V. A., Safonov A. V. [Boyko N. I., Odaryuk V. A. and Safonov A. V.]. Primenenie membrannykh tehnologiy v oshistke vody [The use of membrane technology in the water treatment] // Tehnologii grazhdanskoй bezopasnosti, 2014. – S. 67-69 [Tehnologii grazhdanskoй bezopasnosti, 2014. – S. 67-69] (in Russian).

2. Balandina A. G., Hannildin R. I., Ibragimov V. A., Matryasheva V. A. [Balandina A. G., Hannildin R. I., Ibragimov V. A. and Matryasheva V. A.]. Razvitie membrannykh tehnologiy i vozmozhnost ih primeneniya dlya oshistki stochnykh vod predpriyatiy [The development of membrane technologies and their applicability for sewage treatment enterprises] // Elektronnyy zhurnal Neftegazovoe delo – #5 – 2015. – S. 336-375 [Elektronnyy zhurnal Neftegazovoe delo – #5 – 2015. – S. 336-375] (in Russian).

3. N. Frenk, I. Kemmer [N. Frenk and I. Kemmer]. Kniga Nalko o vode, 2-e izd. [Kniga Nalko o vode, 2-e izd.] // Izd. McGraw-Hill Book Company, 2007. – S. 503-516 [Izd. McGraw-Hill Book Company, 2007. – S. 503-516].

4. Pervov A. G. [Pervov A. G.]. Razrabotka i vnedrenie membrannoy obratnoosmaticheskoy tehnologii v oblasti vodopodgotovki [Inhibition of precipitation in reverse osmosis plants] // Avtoreferat dissertatsii d. t. n. M: 1997. – 59s [Avtoreferat dissertatsii d. t. n. M: 1997. – 59s] (in Russian).

5. Nechitaylo N. P. Nauchnoe obosnovanie naneseniya bakteritsidnogo dinamicheskogo sloya na poverhnost ultrafiltratsionnoy membrany pri oshistke prirodnykh vod // [Development and implementation of a reverse osmosis membrane technologies for water treatment] Nauchno-Obrazovatelnoe Sodruzhestvo «Evolutio.Tehnicheskie i prikladnyie nauki» Ezhemesyachnyiy nauchnyiy zhurnal #2, 2016 – S. 11-13 (in Russian).

6. Fedorenko V.I. [Fedorenko V.I.]. Ingibirovanie osadkoobrazovaniya v ustanovkakh obratnogo osmosa [Inhibition of precipitation in reverse osmosis plants] // Kriticheskie tehnologii. Membranyi – # 2 (18) – 2003 [Kriticheskie tehnologii. Membranyi – # 2 (18) – 2003] (in Russian).

7. Orestov E. O., Mitchenko. T. E. [Orestov Ye. O. and Mitchenko. T. Ye]. Fiziko-himichni osnovy dii Ingibitoriv flouminh membran zворотного osmosu ta shlyakhy yikhnoho optimalnoho vykorystannia [Junction of two physical-himichni Basics of dii ingibitoriv membran zворотного osmosu ta shlyakhy yikhnoho optimalnoho vykorystannia] // Voda i vodoochysni tekhnologii. Naukovo-tehnichni visti – #2 (12) – 2013 [Voda i vodoochysni tekhnologii. Naukovo-tehnichni visti – #2 (12) – 2013] (in Ukrainian).

Стаття надійшла в редколегію 08.09.2016