

УДК 628.168

## ИНГИБИРОВАНИЕ ОСАДКООБРАЗОВАНИЯ В БАРОМЕМБРАННЫХ ПРОЦЕССАХ

КРАВЧУК А.М.<sup>1</sup>, *д.т.н., проф.*  
НЕЧИТАЙЛО Н.П.<sup>2</sup>, *к.т.н., доц.*,  
КОСЮК Е.Н.<sup>3</sup>, *аспирант.*,  
РЕШЕТНЯК Д.А.<sup>4</sup>, *студент.*

<sup>1</sup> кафедра водоснабжения и водоотведения, Государственное высшее учебное заведение «Киевский национальный университет строительства и архитектуры» проспект Воздухофлотский, 31, Киев, Украина, тел. +38(044)245-46-90, a.a.kravchuk@gmail.com

<sup>2</sup> 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) 47-02-79, n\_pr@mail.ru

<sup>3</sup> 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) 47-02-79, evgeniykosuk1992@gmail.com

<sup>4</sup> 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) 47-02-79, dashka\_reshetnyak@mail.ru

**Аннотация.** *Цель.* Изучение проблемы ингибирования осадкообразования в баромембранных установках. Решение данной проблемы с использованием антискаланта OSM 413. *Методика.* Методика эксперимента основана на увеличении общей жесткости в концентрате в зависимости от результативности работы обратноосмотической мембраны и качества исходной воды. *Результаты.* Применение антискалантов на основе полиакрилатов является эффективным способом предотвращения осадкообразования в баромембранных процессах. Реагент OSM 413 является не только ингибитором образования отложений минерального характера на обратноосмотических мембранах, но и способен удалять застарелые отложения, за счет диспергирующих свойств. *Практическая значимость.* Понимание механизма действия реагента на основе сополимеров акриловой кислоты в промышленных условиях и получение оптимальных дозировок реагента по отношению к параметрам поступающей воды на промышленную установку.

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

## ІНГІБУВАННЯ ОСАДОУТВОРЕННЯ У БАРОМЕМБРАННИХ ПРОЦЕСАХ

КРАВЧУК А.М.<sup>1</sup>, *д.т.н., проф.*  
НЕЧИТАЙЛО Н.П.<sup>2</sup>, *к.т.н., доц.*  
КОСЮК Е.Н.<sup>3</sup>, *аспирант*  
РЕШЕТНЯК Д.А.<sup>4</sup>, *студент*

<sup>1</sup> кафедра водопостачання та водовідведення та, Державний вищий навчальний заклад «Київський національний університет будівництва та архітектури» проспект Повітрофлотський, 31, Київ, Україна, тел. +38(044)245-46-90, a.a.kravchuk@gmail.com

<sup>2</sup> кафедра водопостачання, водовідведення та гідраліки, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 47-02-79, n\_pr@mail.ru

<sup>3</sup> кафедра водопостачання, водовідведення та гідраліки, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 47-02-79, evgeniykosuk1992@gmail.com

<sup>4</sup> кафедра водопостачання, водовідведення та гідраліки, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 47-02-79, dashka\_reshetnyak@mail.ru

**Анотація.** *Мета.* Вивчення проблеми інгибування утворення осаду у баромембранных установках. Вирішення даної проблеми з використанням антискаланта OSM 413. *Методика.* Методика експерименту заснована на збільшенні загальної жорсткості в концентраті в залежності від результативності роботи зворотноосмотичної мембрани і якості вихідної води.

**Результати.** Застосування антискалтанту на основі поліакрилатів є ефективним способом запобігання утворення осаду у баромембранних процесах. Реагент OSM 413 є не тільки інгібітором утворення відкладень мінерального характеру на обратноосмотичних мембранах, але і здатний видаляти застарілі відкладення, за рахунок диспергуючих властивостей.  
**Практична значимість.** Розуміння механізму дії реагенту на основі совополімерів акрилової кислоти у промислових умовах та отримання оптимальних доз реагенту по відношенню до параметрів води, що поступає на промислову установку.

*Ключевые слова:* солі, зворотний осмос, інгібітори утворення осаду, антискалтант.

## INHIBITION OF SEDIMENTATION IN BAROMEMBRANE PROCESSES

KRAVCHUK A.M.<sup>1</sup>, Doctor of Technical Sciences, prof.  
NECHITAYLO N.<sup>2</sup>, Ph. D., Assoc. Prof.,  
KOSYUK E.<sup>3</sup>  
RESHETNIAK D.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Department of water-supply and water-diversion, State higher educational establishment the "Kyiv's'kiy natsional'niy universitet of Civil and Architecture", prospekt Vozdukhoflots'kiy, 31, Kyev, Ukraina, tel. +38(044)245-46-90, a.a.kravchuk@gmail.com

<sup>2</sup> Department of water-supply, water-diversion and hydraulics, State higher educational establishment the "Prydniprovsk State Academy of Civil and Architecture", street of Chernyshevskogo, 24-a, 49600, Dnepropetrovsk, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-02-79, n\_np@mail.ru

<sup>3</sup> Department of water-supply, water-diversion and hydraulics, State higher educational establishment the "Prydniprovsk State Academy of Civil and Architecture", street of Chernyshevskogo, 24-a, 49600, Dnepropetrovsk, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-02-79, evgeniykosuk1992@gmail.com

<sup>4</sup> Department of water-supply, water-diversion and hydraulics, State higher educational establishment the "Prydniprovsk State Academy of Civil and Architecture", street of Chernyshevskogo, 24-a, 49600, Dnepropetrovsk, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-02-79, dashka\_reshetnyak@mail.ru

**Annotation. Purpose.** The The problem of inhibition sedimentation is studing in baromembrane installations. The solution of this problem is the use of antiscalant OSM 413. Technique. The experimental procedure is based on an increase in the total stiffness in the concentrate, depending on the effectiveness of the reverse osmosis membrane and the quality of the water. Results. The use of antiscalants based on polyacrylates is an effective way to prevent precipitation in baromembrane processes. The reagent OSM 413 is not only an inhibitor of formation of mineral sediment on reverse osmosis membranes, but it is also capable of removing old sediment, due to dispersing properties. Practical significance. Understanding the mechanism of action of the reagent based on copolymers of acrylic acid in industrial conditions and obtaining optimal reagent dosages which incoming water to the industrial installation.

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

### Введение

Развитие технологии изготовления мембран и мембранных элементов, увеличение удельной производительности и долговечности мембран, возможность создания на их основе полностью автоматизированных установок делает мембранные методы очистки воды все более конкурентоспособными по сравнению с традиционными схемами обработки подземных и поверхностных вод, основанных на использовании [1]. 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].

Важной задачей при работе мембранных установок является контроль и управление процессом накопления загрязнений на мембранах.

При обессоливании раствора, из-за переноса растворителя-воды через мембрану, у ее поверхности увеличивается концентрация растворенных веществ по сравнению с их содержанием в объеме исходного раствора. Такое явление называется концентрационной поляризацией. Из-за повышения концентрации растворенных веществ у поверхности мембраны снижаются ее селективность и удельная производительность. Поскольку отношение концентраций растворенных веществ у поверхности мембраны и в объеме разделяемого раствора экспоненциально возрастает с увеличением удельной производительности, концентрационная поляризация может стать фактором, лимитирующим проницаемость мембран. При повышенной концентрации веществ у разделяющей поверхности мембраны последняя может частично разрушаться или модифицироваться [2].

Решение этой задачи заключается, во-первых, в создании такого режима работы мембранных аппаратов, при котором загрязнение мембран было бы минимальным, а во-вторых, 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. 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.

#### Предотвращение осадкообразования на поверхности мембран.

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 показателей [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.

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.

Таким образом, в случае, если на поверхности зародыша кристалла адсорбировано достаточное количество молекул ингибитора, рост такого зародыша становится невозможным, и, в случае, его термодинамической неустойчивости при таких условиях, зародыш деформируется и растворяется.

В процессе растворения зародыша адсорбированные молекулы ингибитора освобождаются в объём раствора и могут адсорбироваться на другие возникшие зародыши. Таким образом, процесс ингибирования формирования осадков приобретает повторный характер.

Из числа фосфонатов наибольшее распространение в качестве антискалантов получили производные нитрилтриметилфосфоновой НТФ и оксиэтилиденди-фосфоновой кислоты ОЭДФ (рис.1).

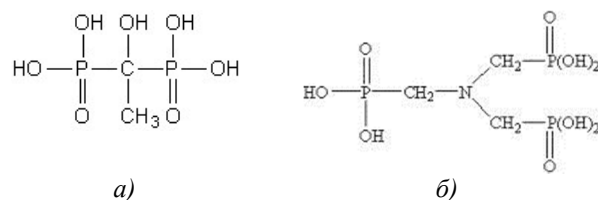


Рис.1. Структурные формулы наиболее распространенных фосфоновых кислот (ОЭДФ-а; НТФ – б) / Structural formulas of the most common phosphonic acids (HEDP-a, ATMP-b)

Фосфонаты более устойчивы, чем фосфаты и практически не гидролизуются. Однако, при передозировке, фосфонаты образуют с кальцием нерастворимые осадки[4].

В таблице 1 приведены рекомендуемые дозировки ОЭДФ в зависимости от карбонатного индекса.

Таблица 1

**Рекомендуемая дозировка ОЭДФ в зависимости от карбонатного индекса / The recommended dosage of HEDP, depending on the carbonate index**

$I_{\text{к}}$ (мг-экв/л) <sup>2</sup>	0-1	1-3	3-7	7-11	11-15	15-20
ОЭДФ, мг/л	0,5± 0,25	1,0± 0,5	2,0± 1,0	4,0± 1,5	6,0±2,0	8,0±3,0

Следует отметить, что 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.

При высоком содержании в воде соединений кремния эффективность применения антискалантов на основе фосфоновых кислот значительно снижается. Поэтому использование антискалантов на основе полимеров позволяет повысить растворение кремнесоединений и предотвратить образования геля на поверхности мембраны.

Основным представителем антискалантов на основе полимеров является полиакриловая кислота и другие производные акриловой кислоты.

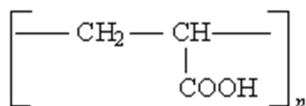


Рис.2. Структурная формула полиакриловой кислоты / Structural formula of polyacrylic acid

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[5]. 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 вследствие 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. Вследствие 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.

В работе [6] было получена закономерность изменения качественных показателей концентрата от дозировки вводимого реагента. Целью проведенных испытаний было определение оптимальной дозировки OSM 413 для установки подготовки воды при помощи ультрафильтрации и обратного осмоса в цеху водоподготовки филии «ТЕПЛОЭЛЕКТРОЦЕНТРАЛЬ» ООО «ДВ нефтегазодобывающая компания».

**Методика эксперимента**

Эксперименты проводились на установке в цехе водоподготовки филии – «ТЕПЛОЭЛЕКТРОЦЕНТРАЛЬ» ООО «ДВ нефтегазодобывающая компания», модуль №2 (МО-2). Установка – модель Ecosoft MO-30 S MAXI, серии № 31826, даты производства 10.07.2012, согласно ТУ У 13680574.002-2000.

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

При правильной дозировки 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, м3/час;

Q (исх) – расход исходной воды, м3/час.

Допускается отклонение фактической жесткости концентрата от расчетной не более 10 – 15%.

**Экспериментальные результаты и их обсуждение**

Физические параметры работы МО-2 перед началом проведения испытательных работ представлены в таблице № 2.

Таблица №2

**Физические параметры работы МО-2 перед началом проведения испытательных работ / Physical parameters of the MO-2 operation before the start of the test work**

Дата	Перепад давления	Выход по пермеату, м <sup>3</sup> /час	Выход по концентрату, м <sup>3</sup> /час
30.09.2016	0,44	31,2	10,3
01.10.2016	0,43	30,6	10,6
02.10.2016	0,41	29,3	10,9
03.10.2016	0,42	28,7	10,9
04.10.2016	0,42	27,9	11,1
05.10.2016	0,42	27,3	11,3

Таблица №5

**Водно-химические параметры работы МО-2 во время проведения испытательных работ/ Water-chemical parameters of MO-2 operation during the test works**

Дата	Время	Электропроводность пермеата, мкСм/см	Жесткость входящей воды, мг-экв/л	Жесткость концентрата, мг-экв/л	Температура воды на входе, °С
06.10.2016	10-20	32,1	6,4	26	-
	11-03	32,1	6,4	19,4	-
	12-23	32,1	6,3	23	-
	13-45	32,1	6,4	22	-
07.10.2016	10-10	35,9	7,6	20	-
	11-15	35,9	6,5	22	-
08.10.2016	-	36,2	6,7	20,8	28,4
09.10.2016	-	35,6	7,6	20,8	28,4
10.10.2016	-	31,1	7,2	20,6	28,7
11.10.2016	-	33,1	6,4	19,8	28,6
12.10.2016	-	28,1	6,3	18,5	27,4
13.10.2016	-	29,6	5,9	18	26,9
14.10.2016	-	33,9	6,1	17,4	27,3
15.10.2016	-	36,7	6,6	18,3	26,7
16.10.2016	-	38,2	6,3	19	27,7
17.10.2016	-	38,5	7,7	20	26,9

Физические параметры работы МО-2 во время проведения испытательных работ представлены в таблице №3.

Таблица №3

**Физические параметры работы МО-2 во время проведения испытательных работ/ Physical parameters of MO-2 operation during the test works**

Дата	Время	Перепад давления	Выход по пермеату, м³/час	Выход по концентрату, м³/час
06.10.2016	10-20	0,4	26,1	11,4
	11-03	0,4	26,5	11,4
	12-23	0,4	26,5	11,4
	13-45	0,4	26,5	11,4
07.10.2016	10-10	0,4	26,9	11,4
	11-15	0,4	27,5	11,3

Окончание табл.3

Дата	Время	Перепад давления	Выход по пермеату, м³/час	Выход по концентрату, м³/час
08.10.2016	-	0,4	26,2	11,5
09.10.2016	-	0,4	26,5	11,4
10.10.2016	-	0,4	26,2	11,4
11.10.2016	-	0,4	26,0	11,4
12.10.2016	-	0,4	25,7	11,4
13.10.2016	-	0,4	25,9	11,4
14.10.2016	-	0,4	25,6	11,4
15.10.2016	-	0,4	25,0	11,5
16.10.2016	-	0,4	25,2	11,5
17.10.2016	-	0,4	24,5	11,5

Водно-химические параметры работы МО-2 перед началом проведения испытательных работ представлены в таблице 4.

Таблица №4

**Водно-химические параметры работы МО-2 перед началом проведения испытательных работ/ Water-chemical parameters of the MO-2 operation before the start of the test work**

Дата	Электропроводность пермеата, мкСм/см	Температура воды на входе,
30.09.2016	57,9	29
01.10.2016	53,3	29,9
02.10.2016	46,9	29,6
03.10.2016	49,4	29,2
04.10.2016	48,7	28,9
05.10.2016	44	28,1

Водно-химические параметры работы МО-2 во время проведения испытательных работ представлены в таблице 5.

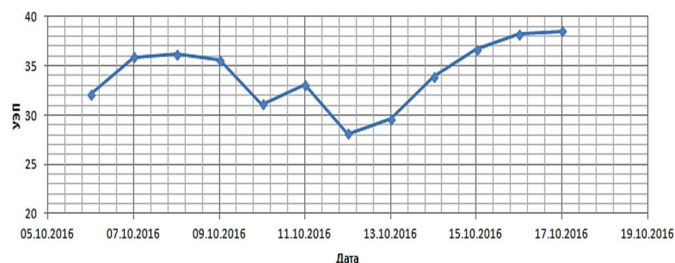


Рис. 3. Изменение удельной электропроводности пермеата во время проведения испытательных работ на МО-2/ Change in the specific electrical conductivity of the permeate during the test works at MO-2

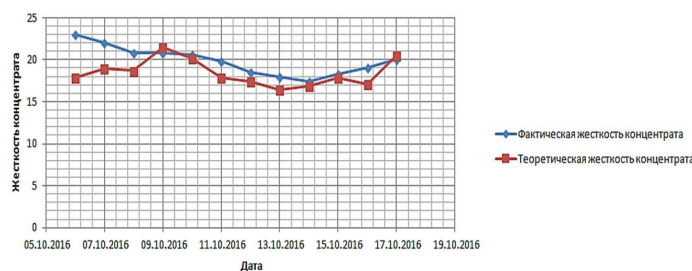


Рис. 4. Изменение фактической и теоретической жесткости концентрата во время проведения

испытательных работ на МО-2/ *Change in the actual and theoretical rigidity of the concentrate during the test works at MO-2*

#### Выводы и рекомендации

- применение антискалантов на основе полиакриловой кислоты является эффективным способом предотвращения осадкообразования в баромембранных процессах;  
- при производительности насоса-дозатора 5 г/мин, жесткости воды поступающей на МО-2 равной 6,4 мг-экв/л и расхода на вход в установку 38,2 м<sup>3</sup>/час кратность разбавления OSM 413 составила 1:18, дозировка концентрата 0,45 г/м<sup>3</sup>, суточная потребность в реагенте 0,41 кг/сут. С точки зрения ингибирования осадкообразования на поверхности мембраны испытуемый антискалант OSM 413 обеспечивает необходимый уровень защиты,

совместим с мембранами DOW FILMTEC BW30HR-440i.

- изменение перепада давления на мембране во время проведения испытательных работ зафиксировано не было, что свидетельствует об отсутствии осадкообразующих процессов;

- изменение фактической жесткости концентрата и теоретической на МО-2, представленные на рисунке 2, свидетельствуют об ингибировании осадкообразований и отмывке застарелых отложений на поверхности мембраны. То есть реагент OSM 413 является не только ингибитором образования отложений минерального характера на обратноосмотических мембранах, но и способен удалять застарелые отложения, за счет диспергирующих свойств;

#### СПИСОК ИСПОЛЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бойко Н. И., Одарюк В. А., Сафонов А. В. Применение мембранных технологий в очистке / Технологии гражданской безопасности, 2014. – 67-69 с.
2. Семенюк В.И. Баромембранные методы водоподготовки.–Режим доступа: <http://ru.teplowiki.org/wiki/index.php?title>.
3. Н. Френк, И. Кеммер. Книга Налко о воде, 2-е изд. / Изд. McGraw-Hill Book Company, 2007. – 503-516 с.
4. В.И. Федоренко. Ингибирование осадкообразования в установках обратного осмоса / Критические технологии. Мембраны, 2003, № 2 (18) – 23-30 с.
5. Орестов Є. О., Мітченко. Т. Є. Фізико-хімічні основи дії інгібіторів флоумінг мембран зворотного осмосу та шляхи їхнього оптимального використання / Вода і водоочисні технології // Науково-технічні вісті – №2 (12) – 2013.
6. Нечитайло Н. П., Косюк Е. Н., Решетняк Д. А. Использование полиакриловой кислоты для предотвращения осадкообразования в баромембранных процессах / Энергетика, экология, компьютерные технологии в строительстве // Строительство, материаловедение, машиностроение, 2016, № 92 – 93-98 с.

#### REFERENCES

1. Boyko N. I., Odaryuk V. A., Safonov A. V. *Primenenie membrannykh tekhnologiy v ochistke* [Application of membrane technologies in purification] / *Tehnologii grazhdanskoj bezopasnosti*, 2014. – pp 67-69. (in Russian).
2. Semenyuk V.I. *Baromembrannyye metody vodopodgotovki* [Baromembrane methods of water treatment].–Available at: <http://ru.teplowiki.org/wiki/index.php?title>. (in Russian).
3. N. Frenk, I. Kemmer. *Kniga Nalko o vode*, [Nalko's book about wate] 2-e izd. / Izd. McGraw-Hill Book Company, 2007. – pp 503-516 . (in Russian).
4. V.I. Fedorenko. *Ingibirovanie osadkoobrazovaniya v ustanovkakh obratnogo osmosa* [Inhibition of sedimentation in reverse osmosis plants] / *Kriticheskie tekhnologii. Membrany*, 2003, № 2 (18) – pp 23-30. (in Russian).
5. Orestov E. O., MItchenko. T. E. *Fiziko-himichni osnovi diyi IngIbItorIv floumIng membran zvorotnogo osmosu ta shlyahi Yihnego optimalnogo vikoristannya* [Physico-chemical basis of the flouminh inhibitors of reverse osmosis membranes and the ways of their optimal use] / *Voda I vodoochisnl tehnologIYi* // *Naukovo-tehnIchnI vIstI* – № 2 (12) – 2013. (in Ukraine).
6. Nechitaylo N. P., Kosyuk E. N., Reshetnyak D. A. *Ispolzovanie poliakrilovoy kislotyi dlia predotvrascheniya osadkoobrazovaniya v baromembrannykh protsesah* [The use of polyacrylic acid to prevent precipitation in baromembrane pro] / *Energetika, ekologiya, kompyuternyye tekhnologi v stroitelstve* // *Stroitelstvo, materialovedenie, mashinostroenie*, 2016, № 92 – pp 93-98 . (in Russian).

Статья рекомендована к публикации д-рами техн. наук, В.И. Большаковым и Д.В. Лаухиным (Украина)