

УДК 628.166

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.250918.59.197

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ МЕМБРАН С БИОЦИДНОЙ ПРИВИВКОЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ ВОД С ВЫСОКИМ СОДЕРЖАНИЕМ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

НЕЧИТАЙЛО Н. П.¹, канд. техн. наук, доц.,

НЕСТЕРОВА Е. В.², канд. техн. наук, доц.,

КОСЮК Е. Н.³, аспир.,

РЕШЕТНЯК Д. А.⁴, студ.,

НЕСТЕРОВ Я. С.⁵, студ.

¹Кафедра водоснабжения, водоотведения и гидравлики, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепро, Украина, тел. +38 (0562) 47-02-79, n_pr@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-4027-9336

²Кафедра водоснабжения, водоотведения и гидравлики, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепро, Украина, тел. +38 (0562) 47-02-79, melenanesterenko@gmail.com, ORCIDID:0000-0003-1035-6572

³Кафедра водоснабжения, водоотведения и гидравлики, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепро, Украина, тел. +38 (0562) 47-02-79, evgeniykosuk1992@gmail.com

⁴Кафедра водоснабжения, водоотведения и гидравлики, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепро, Украина, тел. +38 (0562) 47-02-79, dashka_reshetnyak@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-0664-6684

Аннотация. *Цель статьи* - исследование динамических мембран с биоцидной прививкой при обработке вод с высоким содержанием органических веществ. *Методика.* Для проведения исследований использована полупромышленная установка, разработанная для испытания применимости метода модификации мембран в процессе очистки воды. В эксперименте использованы три параллельно работающих мембранных модуля, каждый из которых имеет активную площадь в 5 м². Модификация двух модулей производится по стандартной схеме путем обработки при помощи оксихлорида алюминия. Третью мембрану обрабатывают при помощи оксихлорида алюминия и смеси биоцидов. *Результаты,* полученные в ходе эксперимента, показали возможность использования данной технологии в процессе очистки воды. Однако одним из ограничений послужило развитие биопленок на поверхности мембраны. Биопленки приводили к снижению фильтрующей способности. Для снижения влияния биопленок в мембранообразующий слой были введены биоцидные прививки, которые Данные прививки позволили получить мембрану со стабильными фильтрующими свойствами и снизить влияние биомассы на процесс загрязнения мембран, о чем свидетельствует проведенный эксперимент. *Практическая значимость.* Создание динамического слоя с биоцидной прививкой позволит повысить эффективность очистки воды из поверхностных источников водоснабжения.

Ключевые слова: динамическая мембрана; биоцид неокислительного действия; биозагрязнения

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ МЕМБРАН ІЗ БІОЦИДНИМ ЩЕПЛЕННЯМ ПІД ЧАС ОБРОБКИ ВОДИ З ВИСОКИМ УМІСТОМ ОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН

НЕЧИТАЙЛО М. П.¹, канд. техн. наук, доц.,

НЕСТЕРОВА О. В.², канд. техн. наук, доц.,

КОСЮК Е. М.³, аспир.,

РЕШЕТНЯК Д. А.⁴, студ.,

НЕСТЕРОВ Я. С.⁵, студ.

¹Кафедра водопостачання, водовідведення та гідраліки, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 47-02-79, n_pr@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-4027-9336

²Кафедра водопостачання, водовідведення та гідраліки, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 47-02-79, elenanesterenko@gmail.com, ORCID ID:0000-0003-1035-6572

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

⁴Кафедра водопостачання, водовідведення та гідраліки, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 47-02-79, dashka_reshetnyak@mail.ru

Анотація. Мета статті - дослідження динамічних мембран із біоцидним щепленням під час бробці вод із високим вмістом органічних речовин. **Методика.** Для досліджень використано напівпромислову установку, розроблену для випробування застосовності методу модифікації мембран у процесі очищення води. В експерименті використано три паралельно працюючі мембранні модулі, кожен з яких має активну площу в 5 м². Модифікація двох модулів проводиться за стандартною схемою шляхом обробки за допомогою оксихлориду алюмінію. Третю мембрану обробляють за допомогою оксихлориду алюмінію і суміші біоцидів. **Результати,** отримані в експерименті, показали можливість використання цієї технології в процесі очищення води. Однак одним з обмежень послужив розвиток біоплівки на поверхні мембрани. Біоплівки спричинювали зниження фільтрувальної здатності. Для зниження впливу біоплівки у мембранотвірний шар уведено біоцидні щеплення, що дозволило отримати мембрану зі стабільними фільтрувальними властивостями і знизити вплив біомаси на процес забруднення мембран. **Практична значимість.** Створення динамічного шару з біоцидним щепленням дозволить підвищити ефективність очищення води з поверхневих джерел водопостачання.

Ключові слова: динамічна мембрана; біоцид неокиснювальної дії; біозабруднення

INVESTIGATION OF DYNAMIC MEMBRANES WITH BIOCIDAL GRAFTING IN WATER TREATMENT WITH HIGH CONTENT OF ORGANIC SUBSTANCES

NECHITAYLO N. P.¹, *Cand. Sc. (Tech.), Ass. Prof.*,

NESTEROVA E. V.², *Cand. Sc. (Tech.), Ass. Prof.*,

KOSYUK E. N.³, *postgraduate*,

RESHETNIAK D. A.⁴, *student*,

NESTEROV Ya. S.⁵, *student*

¹Department of Water-Supply, Water-Diversion and Hydraulics, State Higher Educational Establishment the «Prydniprov's'ka State Academy of Civil and Architecture», 24-a, Chernyshevskogo st., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-02-79, n_np@mail.ru ORCID ID: 0000-0003-4027-9336

²Department of Water-Supply, Water-Diversion and Hydraulics, State Higher Educational Establishment the «Prydniprov's'ka State Academy of Civil and Architecture», 24-a, Chernyshevskogo st., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-02-79, elenanesterenko@gmail.com ORCID ID:0000-0003-1035-6572

³Department of Water-Supply, Water-Diversion and Hydraulics, State Higher Educational Establishment the «Prydniprov's'ka State Academy of Civil and Architecture», 24-a, Chernyshevskogo st., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-02-79, evgeniykosuk1992@gmail.com

⁴Department of Water-Supply, Water-Diversion and Hydraulics, State Higher Educational Establishment the «Prydniprov's'ka State Academy of Civil and Architecture», 24-a, Chernyshevskogo st., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-02-79, dashka_reshetnyak@mail.ru

⁵State Higher Educational Establishment the «Prydniprov's'ka State Academy of Civil and Architecture», 24-a, Chernyshevskogo st., Dnipro 49600, Ukraine, tel. +380679965833, e-mail jkiggn97@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-0664-6684

Annotation. Purpose. Research of dynamic membranes with biocidal grafting in the treatment of waters with a high content of organic substances. **Technique.** For the research, was used a semi-industrial plant that was designed to test the applicability of the membrane modification method in the water purification process. In the experiment were used three parallel-working membrane modules, each of them has an active area of 5 m². Modification of the two modules is carried out according to the standard scheme by treatment with aluminum oxychloride. The third membrane is treated with aluminum oxychloride and a mixture of biocides. **Results.** The data obtained as a result of the experiment showed the possibility of using this technology in the process of water purification. However, one of the limitations was the development of biofilms on the membrane surface. Biofilms led to a decrease in the filtering ability. To reduce the influence of biofilms in the membrane-forming layer, biocidal grafts were introduced. These vaccinations made it possible to obtain a membrane with stable filtering properties and to reduce the effect of biomass on the process of membrane contamination, as evidenced by the experiment. **Practical significance.** The creation of a dynamic layer with biocidal grafting will improve the efficiency of water purification from surface water sources

Keywords: dynamic membrane; biocide of non-oxidative action; bio-contamination

Введение. Авторы назвали размножению в течение длительного биологическое обрастание [1] «ахиллесовой пятой» мембранных методов обработки, используя биоразлагаемые примеси из питательной воды, даже если их удаление происходит более чем на 99 % на

предыдущих стадиях обработки.

Биозагрязнения могут обуславливать следующие неблагоприятные факторы воздействия на мембранные системы [2-6]:

- снижение трансмембранного потока в связи с формированием биопленки, которая снижает проницаемость поверхности мембраны;
- увеличение перепада давления на мембране, что требует увеличения давления с питающей стороны;
- мембранная биодеградация, вызванная кислотной средой в результате образования побочных продуктов жизнедеятельности биопленки на поверхности мембраны. Например, мембраны из ацетатцеллюлозы наиболее восприимчивы к биодеградации;
- увеличение проницаемости задерживаемых веществ и снижение качества воды в связи с накоплением в биопленке на поверхности мембраны загрязнений, что увеличивает степень концентрационной поляризации;
- увеличение энергозатрат на продавливание воды сквозь мембрану.

Четкое представление о бактериальном развитии и образовании пленки на поверхности мембраны позволяет обеспечить бесперебойную работу системы обработки природных и сточных вод с минимальным загрязнением поверхности мембраны, а также исключить необратимые модификации мембран.

Бактериальные загрязнения поверхности (например, формирование биопленки) можно разделить на три этапа: транспорт организмов на поверхности, закрепление на поверхности мембраны, и последующее развитие микроорганизмов.

Конструкция мембранных установок довольно сложна, имеет много развитых поверхностей, щелей и застойных зон в ее трубопроводах и аппаратуре. Мембранные элементы, входящие в ее состав, имеют огромную площадь поверхности, которая легко доступна для закрепления и развития микроорганизмов. Именно они являются особенно склонными к биологическому росту.

При проектировании мембранных установок и расчете эффективности их использования в том или ином производстве следует учитывать расходы, которые могут понадобиться для поддержания воды безопасной в микробиологическом отношении (особенно в производствах, где бактериальное загрязнение является критичным для конечного продукта). Такие примеры найдены в пищевой, медицинской, фармацевтической и электронной отраслях промышленности.

Исследование способов предотвращения биологического обрастания мембран и поиск путей решения. Наиболее простым и эффективным способом предотвращения роста биопленки на поверхности мембран является постоянный контроль общего микробного числа. При контроле и регистрации уровня микробиологических загрязнений в процессе эксплуатации мембранных установок необходимо отслеживать тенденции изменения микробиологического качества, как в очищенной, так и в исходной воде.

В зависимости от источника водоснабжения и времени года в исходной воде могут наблюдаться сезонные колебания уровня ее загрязненности. Поэтому перед проектированием мембранных установок по возможности следует проверить качество исходной воды в течение года. Однако для поверхностных источников водопользования данная методика не является определяющей. Бактериальный рост часто зависит от обстоятельств, которые сложно предсказать или предусмотреть, и здесь очень важно определить, существует ли тенденция к увеличению уровня загрязнения.

Так, воспользовавшись данными, изложенными в работах [6; 7], можно с уверенностью сказать, что накопление загрязнений за счет прироста биомассы становится весьма значительным уже через 30–40 часов, а через 50 часов работы установки носит основной характер загрязнения. Соответственно, создание модифицированного слоя с бактериостатическими или биоцидными

свойствами позволит в значительной степени продлить цикл между химическими промывками мембранных установок.

Научное обоснование применения мембран с динамическим слоем и биоцидной прививкой. Для решения проблемы формирования биопленок предложено внести биоцидные добавки в динамический слой мембраны. В качестве полимерной основы могут быть использованы имодозолины или четвертичные аммонийные соединения (ЧАС) в качестве биоцидной основы.

Использование ЧАС в борьбе с патогенной микрофлорой известно несколько десятилетий. Первый представитель данного класса был синтезирован более 90 лет назад (в 1925 г.), но активное их использование в области водоподготовки началось с 1930 года [8-11]. Механизм действия ЧАС заключается в разрушении липидных слоев цитоплазматической мембраны, вследствие взаимодействия положительно заряженного четвертичного атома азота с полярными группами (головами) кислотных фосфолипидов. Гидрофобные хвосты ЧАС контактируют с гидрофобной поверхностью мембраны, вследствие чего ЧАС образуют смешанные мицеллярные формирования с гидрофобными компонентами мембраны, приводящие к повышению ее растворимости и разрушению (лизису) клетки. Клетка погибает в результате глобального и интенсивного высвобождения элементов цитоплазмы.

ЧАС обладают биоцидным действием по отношению к грамположительным и некоторым грамотрицательным бактериям, более активным в отношении подавления развития грибков и водорослей [12; 13].

Благодаря наличию антимикробного действия и характерных свойств ПАВ в последние годы использование биоцидных реагентов на основе ЧАС значительно возросло. Так, самый распространенный представитель ЧАС - бензалконий хлорид используется в качестве альгицида для борьбы с водорослями и простейшими. Среди главных его недостатков следует отметить узкий спектр активности по отношению к вирусам и спорам бактерий.

В работе [14] показано, что в *E. coli* и *S. marcescens* появляется резистентность к ЧАС. Так же указано, что высокие концентрации данных соединений не вызывают резистентности у золотистого стафилококка, однако наблюдается изменение физических характеристик его колоний.

В публикациях [14-16] экспериментально подтверждена зависимость проявления резистентных свойств у бактерий от уровня pH. На примере бензалкония хлорида установлено, что данное вещество более активно при щелочном уровне pH: например, при pH = 6.8 в *S. marcescens* наблюдалось повышение устойчивости за счет увеличения роста в 20 раз, тогда как при pH = 7.7 рост увеличился всего в 2.2 раза.

Полигексаметиленгуанидин ПГМГ - это соль достаточно сильной полиосновы, которая в водных растворах легко распадается с образованием поликатионов [16].

Характерной особенностью ПГМГ является то, что в растворах, в зависимости от условий, он может находиться в двух конформациях - свернутой и развернутой. Так, в разбавленных растворах происходит диссоциация ионогенных групп полимера, в результате чего увеличивается количество некомпенсированных противоионов Cl⁻. Это приводит к электростатическому отталкиванию фиксированных зарядов.

В свою очередь, свернутую конформацию ПГМГ приобретает в присутствии индифферентных электролитов, вроде хлорида натрия NaCl. При введении NaCl увеличивается количество противоионов хлора, компенсируется положительный заряд на макромолекулах, приводя к свертыванию микроклубков [17-19].

Биоцидное действие ПГМГ аналогично действию других высокомолекулярных катионных биоцидов, в частности, ЧАС: поскольку микроорганизмы обычно имеют отрицательный суммарный электрический заряд, они притягивают к себе N⁺ биоцидного препарата, таким образом сталкивается с микроорганизмом, проходит через клеточную мембрану, вызывая ее разрушение, и проникает внутрь клетки. Внутри клетки ПГМГ влияет на обменную функцию ферментов, нарушает воспроизводящую спо-

способность нуклеиновых кислот и белков, а также подавляет дыхательную систему. Такое воздействие, наряду с разрушением стенок клетки приводит к гибели микроорганизма [20; 21].

Требования, предъявляемые к формируемому динамическому слою:

- пролонгированность действия (не менее 5–6 суток);
- универсальное действие как к водорослям, грибкам, так и к микроорганизмам;
- устойчивость к вымыванию;
- возможность легкого восстановления мембраны к начальным фильтрационным характеристикам;
- простота нанесения биоцидного слоя так, чтобы не усложнять предложенную методику создания динамического слоя;
- стандартные биоциды, применяемые в технологии пищевого производства и питьевой воды.

Мембрана имеет отрицательный заряд поверхности, соответственно выбор сводится к полимерным биоцидам с неионогенными или предпочтительно с катионными свойствами. Выбранные биоциды – бензалконий хлорид и полигексаметилгуанидин – полностью отвечают вышеизложенным требованиям, имеют широкий биоцидный и альгецидный спектр действия.

Методика эксперимента. Для проведения исследований была использована полупромышленная установка, разработанная для испытания применимости метода модификации мембран в процессе очистки воды. В эксперименте использованы три параллельно работающих мембранных модуля, каждый из которых имеет активную площадь в 5 м². Модификация двух модулей производится по стандартной схеме путем обработки при помощи оксихлорида алюминия. Третью мембрану обрабатывают при помощи оксихлорида алюминия и смеси биоцидов.

В методику нанесения динамического слоя были внесены изменения, связанные с введением биоцидов. Биоцид, в отличие от основной формирующей добавки, подавался импульсно каждые 5 минут. Это позволяет сформировать послойную укладку биоцида

ввиду того, что применяемые полимеры имеют заряд. Биоцид в систему подавали при помощи насоса-дозатора. Биоциды вносятся в соотношении 10 : 1 : 0,33 (полиоксихлорид алюминия: ПГМГ – ГХ: бензалконий хлорид), все соотношения даны по действующему веществу.

Результаты исследований изменения рабочих характеристик динамической ультрафильтрационной мембраны с биоцидной прививкой и без нее. Три модуля устанавливают в параллельную работу. Продолжительность испытания семь дней. Воду из р. Днепр подают на модули. Первый модуль подвергается только гидравлической промывке. Второй модуль подвергается гидравлической промывке и два раза в сутки промывке при помощи гипохлорита натрия. Третий модуль, подвергнутый дополнительной модификации, как и первый, промывается гидравлическим способом. Гидравлические промывки производятся каждые 30 минут. Давление перед мембранным модулем устанавливаем 0,1 МПа. Расходы фиксируются при помощи ротаметров. Фильтрация производится в тупиковом режиме. Из полученных данных рассчитывают среднесуточные расходы для каждого типа модификации и промывки.

Мембрана, модифицированная без биоцидной добавки и не проходившая периодическую промывку при помощи гипохлорита натрия, показала наихудший результат из-за биообрастания. Биообрастание начинает оказывать влияние на фильтрующую способность уже в первые сутки работы. В дальнейшем график иллюстрирует постепенное снижение производительности. На третьи сутки начинается лавинообразное падение, за счет образования биопленок.

Мембрана с динамическим слоем и периодической обработкой гипохлоритом натрия в дозе 20 мг/л по активному хлору показала стабильную работу. Также в первые часы после промывки гипохлоритом, происходило повышение производительности, предположительно благодаря устранению окисляемой органики с поверхности мембраны.

Мембрана с динамическим слоем и периодической обработкой гипохлоритом натрия в дозе 20 мг/л по активному хлору показала стабильную работу. Также в первые часы после промывки гипохлоритом,

происходило повышение производительности, предположительно благодаря устранению окисляемой органики с поверхности мембраны.

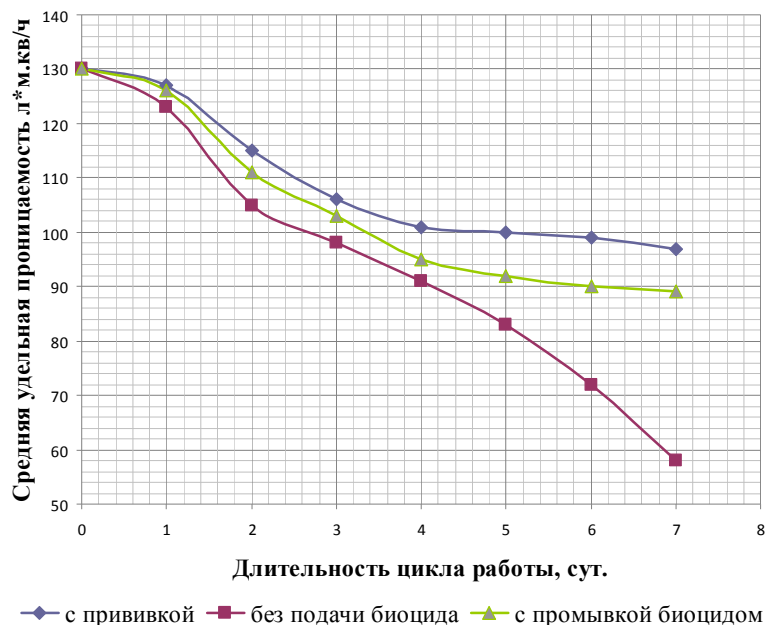


Рис. Изменение проницаемости мембран с разными способами обработки под действием задерживаемых загрязнений

Мембрана с модифицированным динамическим слоем и бактерицидной прививкой показала наиболее стабильную работу, меньшее снижение производительности.

Выводы. Результаты эксперимента показали возможность использования данной технологии в процессе очистки воды. Однако одним из ограничений послужило развитие биопленок на поверхности мембраны. Биоплёнки снижали фильтрующую способность. Для снижения влияния биопленок в мембранообразующий

слой были введены биоцидные прививки. Они позволили получить мембрану со стабильными фильтрующими свойствами и снизить влияние биомассы на процесс загрязнения мембран, о чем свидетельствует проведенный эксперимент.

Полученная методика позволяет адаптировать готовые мембранные элементы к конкретным условиям эксплуатации. Создание динамического слоя с биоцидной прививкой позволит повысить эффективность очистки воды из поверхностных источников водоснабжения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Biofouling – the Achille’s heel of membrane processes / H.–C. Flemming, T. Griebe, G. Schaule, J. Schmitt, A. Tamachkarowa // Desalination. – 1997. – Vol. 113, iss. 2–3. – P. 215–225.
2. Vrouwenvelder J. S. Diagnosis of fouling problems of NF and RO membrane installations by a quick scan / J. S. Vrouwenvelder, D. van der Kooij // Desalination. – 2002. – Vol. 153, iss. 1–3. – P. 121–124.
3. Kramer J. F. The solution to reverse osmosis biofouling / J. F. Kramer, D. A. Tracey // Proceedings of IDA World Congress on Desalination and Water Use, Abu Dhabi, Saudi Arabia, November 18–24, 1995 / organized by the International Desalination Association (IDA). – Abu Dhabi, 1995. – Vol. 4. – P. 33–44.
4. Abd El Aleem F. A. Biofouling problems in membrane processes for water desalination and reuse in Saudi Arabia / F. A. Abd El Aleem, K. A. Al-Sugair, M. I. Alamad // International Biodeterioration & Biodegradation. – 1998. – Vol. 41, iss. 1. – P. 19–23.
5. Ridgway H. F. Microbial adhesion and biofouling of reverse osmosis membranes / Ridgway H. F. // Osmosis Technology: Application for High Pure Water Production / ed. Bipin S. Parekh. – New York : Marcel Dekker Inc, 1988.

– P. 429–481.

6. Первов А. Г. Влияние биологического загрязнения на работу обратноосмотических и ультрафильтрационных мембранных элементов / А. Г. Первов, А. П. Андрианов, Э. А. Телитченко. // Мембраны. Критические технологии. – 2004. – № 1 (21). – С. 3–17.
7. Russell A. D. Introduction of biocides into clinical practice and the impact on antibiotic-resistance bacteria / A. D. Russell // Journal of Applied Microbiology. – 2002. – Vol. 92. – P. 121–135.
8. Damage of Escherichia coli membrane by bactericidal agent polyhexamethylene guanidine hydrochloride: micrographic evidences / Z. X. Zhou, D. F. Wei, Y. Guan, J. J. Zhong // Journal of Applied Microbiology. – 2009. – Vol. 108, iss. 3. – P. 898–907.
9. Modified guanidine polymers: Synthesis and antimicrobial mechanism revealed by AFM / L.-Y. Qian, Y. Guan, B. He, H. Xiao // Polymer. – 2008. – Vol. 49, iss. 10. – P. 2471–2475.
10. Russell A. D. Bacterial adaptation and resistance to antiseptics, disinfectants and preservatives is not a new phenomenon / A. D. Russell // Journal of Hospital Infection. – 2004. – Vol. 57, iss. 2. – P. 97–104.
11. Bloomfield S. F. Mechanisms of inactivation and resistance of spores to chemical biocides / S. F. Bloomfield, M. J. Arthur // Journal of Applied Microbiology. – 1994. – Vol. 76. – P. 91–104.
12. Denyer S. P. Mechanisms of action of antibacterial biocides / S. P. Denyer // International Biodeterioration & Biodegradation. – 1995. – Vol. 36, iss. 3–4. – P. 227–245.

REFERENCES

1. Flemming H.-C., Griebe T., Schaule G., Schmitt J. and Tamachkiarowa A. *Biofouling – the Achille’s heel of membrane processes*. Desalination. 1997, vol. 113, iss. 2–3, pp. 215–225.
2. Vrouwenvelder J.S. and Kooij D. van der *Diagnosis of fouling problems of NF and RO membrane installations by a quick scan*. Desalination. 2002, vol. 153, iss. 1–3, pp. 121–124.
3. Kramer J.F. and Tracey D.A. *The solution to reverse osmosis biofouling*. Proceedings of IDA World Congress on Desalination and Water Use, Abu Dhabi, Saudi Arabia, November 18-24, 1995, organized by the International Desalination Association (IDA). Abu Dhabi, 1995, vol. 4, pp. 33–44.
4. Abd El Aleem F. A., Al-Sugair K.A. and Alamad M.I. *Biofouling problems in membrane processes for water desalination and reuse in Saudi Arabia*. International Biodeterioration & Biodegradation. 1998, vol. 41, iss. 1, pp. 19–23.
5. Ridgway H.F., ed. Bipin S. Parekh *Microbial adhesion and biofouling of reverse osmosis membranes*. Osmosis Technology: Application for High Pure Water Production. New York: Marcel Dekker Inc, 1988, pp. 429–481.
6. Pervov A.G., Andrianov A.P. and Telitchenko Ye.A. *Vliyanie biologicheskogo zagryazneniya na rabotu obratnoosmoticheskix i ul'trafil'tracionnyx membrannyx elementov [Influence of biological pollution on the work of reverse osmosis and ultrafiltration membrane elements]*. Membrany. Kriticheskie tehnologii [Membranes. Critical Technologies]. 2004, no. 1 (21), pp. 3–17. (in Russian).
7. Russell A.D. *Introduction of biocides into clinical practice and the impact on antibiotic-resistance bacteria*. Journal of Applied Microbiology. 2002, vol. 92, pp. 121–135.
8. Zhou Z.X., Wei D.F., Guan Y. and Zhong J.J. *Damage of Escherichia coli membrane by bactericidal agent polyhexamethylene guanidine hydrochloride: micrographic evidences*. Journal of Applied Microbiology. 2009, vol. 108, iss. 3, pp. 898–907.
9. Qian L.-Y., Guan Y., He B. and Xiao H. *Modified guanidine polymers: Synthesis and antimicrobial mechanism revealed by AFM*. Polymer. 2008, vol. 49, iss. 10, pp. 2471–2475.
10. Russell A.D. *Bacterial adaptation and resistance to antiseptics, disinfectants and preservatives is not a new phenomenon*. Journal of Hospital Infection. 2004, vol. 57, iss. 2, pp. 97–104.
11. Bloomfield S.F. and Arthur M.J. *Mechanisms of inactivation and resistance of spores to chemical biocides*. Journal of Applied Microbiology. 1994, vol. 76, pp. 91–104.
12. Denyer S.P. *Mechanisms of action of antibacterial biocides*. International Biodeterioration & Biodegradation

Рецензент: Дерев'янюк В. М., д-р техн. наук, проф.

Надійшла до редколегії: 11.03.2018 р.