

НОВЫЙ ПОДХОД К ИЗУЧЕНИЮ ПРОЦЕССА УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИИ С ТУРБУЛЕНТНЫМИ ПУЛЬСАЦИЯМИ И ПЕРЕМЕННЫМ ДАВЛЕНИЕМ

А.Э. Усынина, Л.В. Боронина

Кафедра ИСЭ
Факультет инженерных систем и пожарной безопасности
Астраханский инженерно-строительный институт
ул. Татищева, д. 18, Астрахань, Россия, 414056

Статья посвящена мембранным методам подготовки воды, основным процессам, снижающим эксплуатационные характеристики мембранных аппаратов, а также ограничивающим отечественное внедрение данных технологий. Целью современных исследований является создание конструкций ультрафильтрационных полуволоконных аппаратов с низкой себестоимостью, снижение эксплуатационных расходов процесса ультрафильтрации.

Ключевые слова: мембранный аппарат, полуволоконный фильтр, ультрафильтрация, турбулизация, импульсная фильтрация

Лидирующее положение в современном водоснабжении принадлежит мембранным методам очистки воды. Стремительное развитие мембранной отрасли дало скачок в сфере подготовки воды.

В отечественной практике особый вклад в развитие мембранных технологий внесли А. Кульский, и Э. Апельцин, Ю.И. Дытнерский, Ю.И. Ефимов, Б.Е. Рябчиков, О.В. Лифшиц, А.Г. Первов, Б.Н. Фрог и др.

На сегодняшний день лидирующие позиции в производстве и реализации мембранной продукции принадлежат США, Японии, Великобритании, Германии, Франции, Корею. Товарные группы перечисленных стран насыщают практически все ведущие мировые производители мембранных модулей, а также не многочисленные российские компании. Отечественное производство значительно отстает от своих предшественников по ряду причин: слабое развитие собственной производственной базы (российский рынок не превышает 1% мирового рынка мембран [6]); незаинтересованность руководителей предприятий в модернизации технологии подготовки воды, предпочтение альтернативным методам.

Однако отечественная наука стремится развивать отрасль в стране, создавать более эффективные методы мембранного разделения, модернизировать мембранные аппараты для очистки воды.

Первые мембранные элементы представляли собой фильтр-прессы (рис. 1) [9, С. 135].

В конструкции с плоскими мембранами имелись отверстия и каналы для перетекания раствора между камерами. Аппарат имел недостатки, ограничивающие применение аппаратов в области ультрафильтрации (УФ), такими как металлоемкость, большого числа стягивающих шпилек.

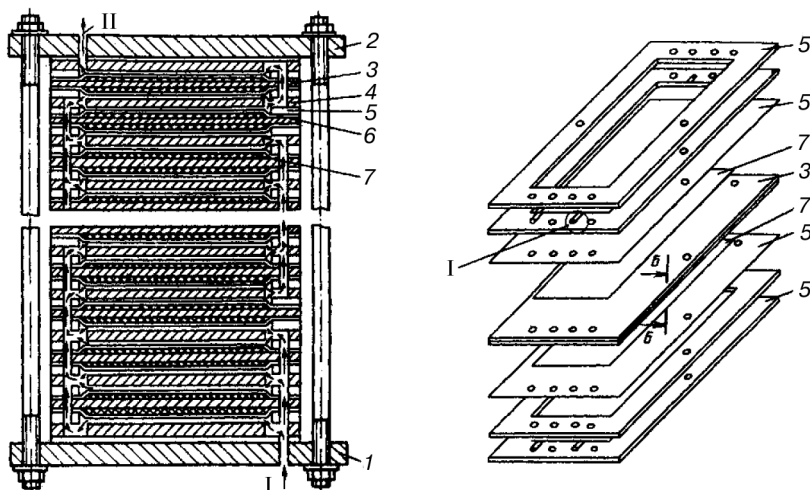


Рис. 1. Плоский мембранный аппарат: 1, 2 — фланцы; 3 — опорная пластина с дренажем; 4 — турбулизатор; 5 — уплотнительная рамка; 6 — мембрана; 7 — дренаж

Наибольшее практическое применение нашел мембранный аппарат типа фильтр — пресс с круглыми мембранными фильтрующими элементами (рис. 2) [9. С. 136].

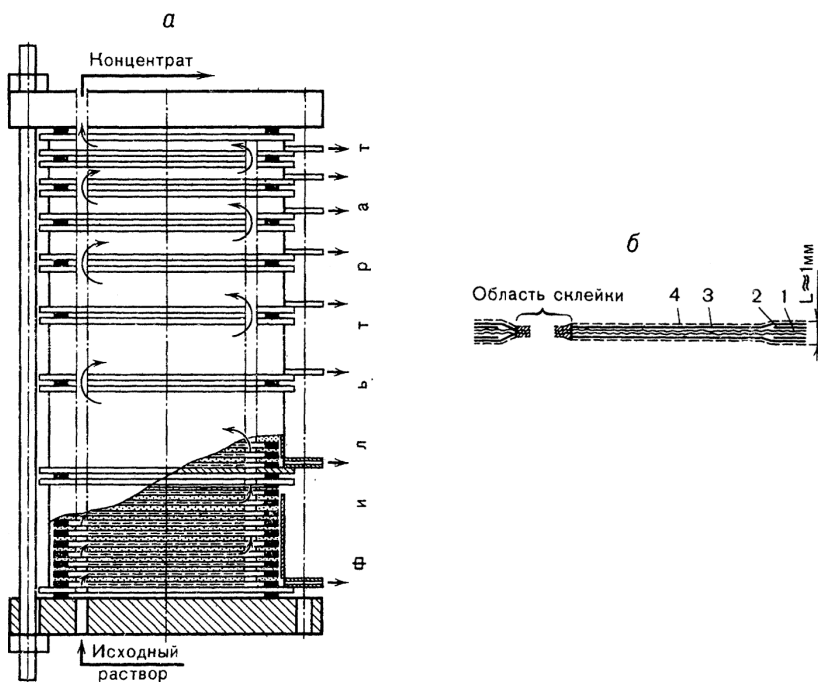


Рис. 2. Мембранный аппарат типа фильтр-пресс с круглыми мембранными элементами: 1 — дренаж; 2 — предохранительное кольцо; 3 — гладкая подложка; 4 — мембрана

Перетекание раствора в представленном аппарате обеспечивалось отверстиями на рабочей поверхности мембранного элемента. Данная конструкция обеспечивает высокую плотность упаковки мембранных элементов, простоту демонта-

жа отдельных элементов блока. Однако подобные аппараты имеют высокую стоимость.

В настоящее время большим спросом на рынке пользуются мембранные аппараты рулонного типа, поскольку отличаются достаточно высокой плотностью упаковки мембранных элементов (до $1000 \text{ м}^2/\text{м}^3$) и небольшим диаметром (до 200 мм) (рис. 3) [10].

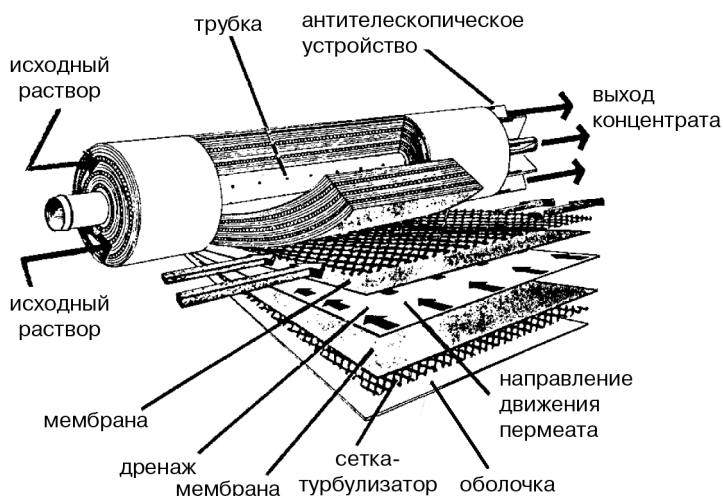


Рис. 3. Рулонный мембранный аппарат [3]

Достичь высокой производительности на единицу объема мембранного оборуования возможно при применении большого количества полых волокон в небольшом объеме (рис. 4).

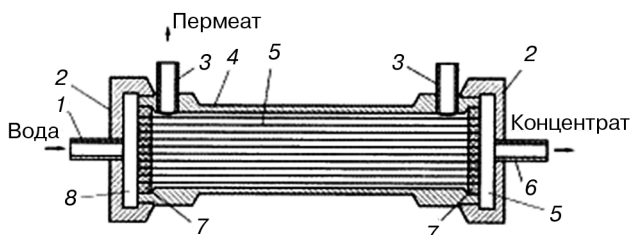


Рис. 4. Аппарат с полыми волокнами: 1 — патрубок для подачи исходной воды; 2 — крышки; 3 — патрубок пермеата; 4 — корпус; 5 — полые волокна; 6 — патрубок для отвода концентрата; 7 — герметизирующая заливка; 8 — концевые камеры

УФ полые волокна — тонкие пористые трубки диаметром 0,3—3,0 мм и толщиной стенок 0,1—0,75 мм [16]. Основным преимуществом таких аппаратов является высокая плотность упаковки и отсутствие металлических дополнительных элементов в конструкции.

Первые мембранные УФ волоконные аппараты были созданы во второй половине 60-х и начале 70-х гг. XX в. в США [8; 3; 14] с фильтрацией раствора наружной и внутренней поверхностью фильтрующих волокон.

Аппараты с одним пучком волокон были обвиты спирально нитью для создания необходимого зазора между фильтрующими элементами, способствующего наилучшему распределению разделяемой смеси внутри образованного пучка волокон (рис. 5) [16].

Более развитой фильтрующей поверхностью и меньшим размером пор отличаются картриджные фильтры на основе U-образных волокон (рис. 6) [4; 8].

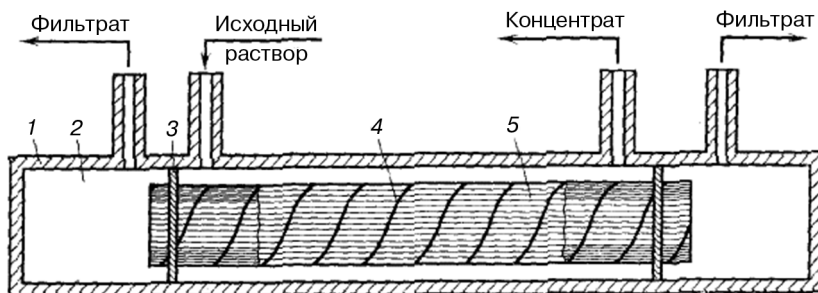


Рис. 5. Аппарат с одним пучком волокон [4. С. 158]: 1 — корпус; 2 — сборник фильтрата; 3 — переключки; 4 — спиральная нить; 5 — волокно

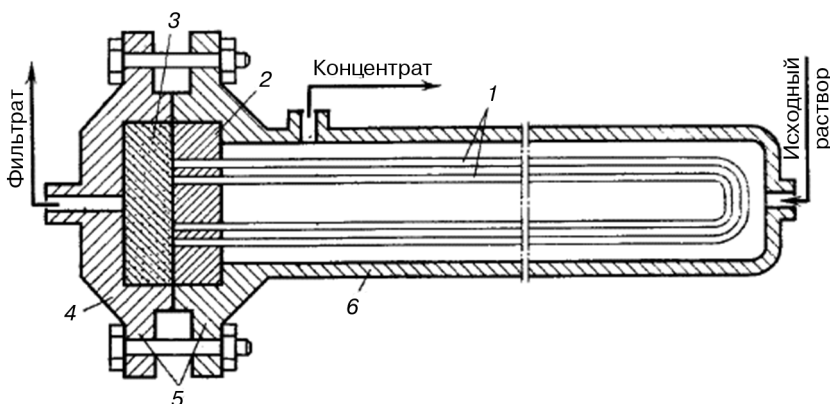


Рис. 6. Мембранный аппарат с U-образным расположением волокон [11. С. 162]: 1 — пучок полых волокон; 2 — шайба; 3 — пористая подложка; 4 — крышка; 5 — фланцевое соединение; 6 — корпус

В целях интенсификации мембранного разделения применяют барботажные устройства и турбулизаторы [5; 8]. Аппараты отличаются от представленных выше повышенным гидродинамическим воздействием на разделяемый поток турбулизатора, однако скорость их мала (200—400 об/мин [7]), а использование аппарата приводит к существенным энергозатратам.

Создание турбулентного движения в потоке, способного уменьшить влияние концентрационной поляризации на мембранных элементах, предложено было в аппарате, представляющего трубчатый мембранный модуль, состоящий из двух коаксиально расположенных пористых тел, с нанесенными на них полупроницаемыми мембранами [5]. Однако для реализации аппарат достаточно сложен, имеет значительные эксплуатационные затраты, приводящие к удорожанию системы за счет потребления дополнительных энергоресурсов.

Многолетний опыт применения мембранных аппаратов свидетельствует о низких эксплуатационных характеристиках, снижении интенсивности баромембранных процессов за счет концентрационной поляризации, образования осадка на поверхности мембранных фильтрующих элементов. Сложность протекающих процессов в том, что в них одновременно проявляются как конвективное, так и диффузионное движение за счет преобладания влияния движения в направлении, перпендикулярном мембране [5]. Другими словами, в потоке возникает процесс импульсной фильтрации [2].

В процессе УФ происходит гелеобразование (рис. 7) на поверхности мембран растворов высокомолекулярных соединений (ВМС).

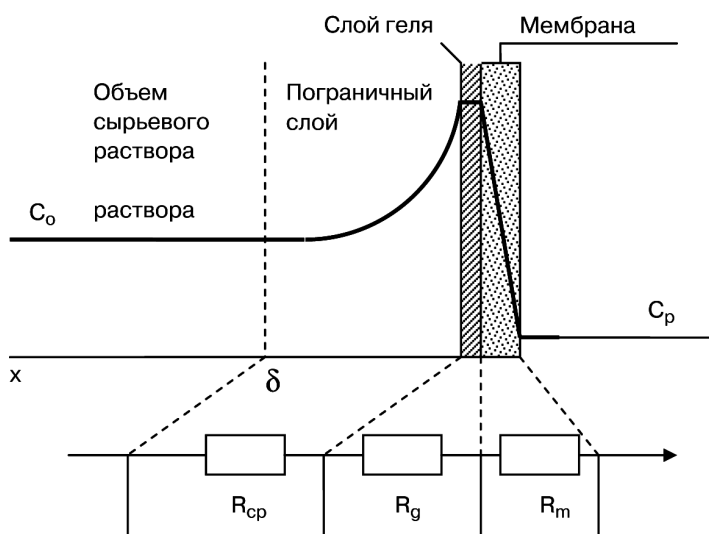


Рис. 7. Распределение концентраций задерживаемого компонента в условиях существования слоя КП и гелевого слоя [9]

В результате возникает сопротивление переносу веществ через мембранный элемент R_g , а в самом слое концентрация гелеобразования C_g остается постоянной [9. С. 50]. Данный вид сопротивления является причиной падения производительности мембран.

Для УФ мембран [4; 7. С. 19; 16] проницаемость полволоконных мембран увеличивается линейно с ростом давления. В случае дальнейшего его увеличения гелевый слой уплотняется при постоянном значении концентрации гелеобразования C_g [9. С. 50], вследствие повышается общее гидравлическое сопротивление потоку пермеата, усадка материала мембраны и ее необратимая механическая деформация, приводящая к резкому росту гидравлического сопротивления или частичному разрыву.

Как следствие, рост проницаемости замедляется и практически прекращается по достижению так называемого значения предельного потока, при котором начинается образование осадка [12; 13; 15] и увеличивается количество обратных промывок фильтра.

Вызванные гидравлические сопротивления влияют на величину скорости потока пермеата. В свою очередь, скорость потока исходной смеси на входе в про-

точный ПВ фильтр [16] оказывает заметное влияние на производительность фильтра [7. С. 20].

Ясно, что главной целью работы является решение следующих задач:

— модернизация конструкций ультрафильтрационных ПВ аппаратов с низкой себестоимостью;

— снижение эксплуатационных расходов процесса УФ и правильный выбор режима обратных промывок фильтра [1. С. 198].

В связи с этим возникает необходимость в новом подходе изучения процесса УФ на примере движения потока жидкости с турбулентными пульсациями при переменном давлении, способного увеличить скорость фильтрования.

Техническим результатом достижения высокотехнологических параметров процесса водоподготовки методом ультрафильтрационного разделения предлагается создание полволоконного мембранного аппарата для очистки воды (рис. 8) [11].

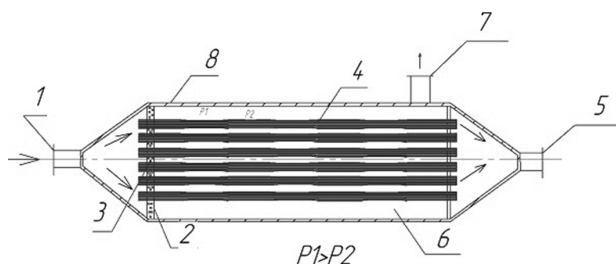


Рис. 8. Мембранный полволоконный аппарат с созданным переменным сечением потока:
1 — патрубок для подачи исходной воды; 2 — периферийная перегородка; 3 — отверстия;
4 — полые волокна; 5 — патрубок для отвода пермеата (чистой воды); 6 — мембранный аппарат;
7 — патрубок для отвода пермеата; 8 — корпус аппарата [12]

Мембранный полволоконный аппарат заключен в корпус. В начале аппарата перпендикулярно корпусу расположена периферийная перегородка для подачи исходной жидкости в пространство с полыми волокнами. Загрузочный фильтрующий элемент представляет собой полые волокна из органических природных (вискозные ацетатные) или синтетических (полиамидные из неорганических материалов) материалов. Патрубки для подвода исходной воды и отвода очищенной жидкости расположены в начале и в конце аппарата соответственно.

Мембранный полволоконный аппарат отличается тем, что подача исходной жидкости осуществляется параллельно аппарату (реактору), полые волокна объединены между собой в пучки, создавая при этом в аппарате пульсирующее движение жидкости между полыми волокнами, позволяющее увеличить скорость фильтрования через них и снизить потери напора при постоянном расширении и сужении сечения потока.

Мембранный аппарат 6 заполняют фильтрующим ультрафильтрационным материалом в виде полых волокон 4. Аппарат заключен в цилиндрический корпус 8. Исходная вода по патрубку 1 подается в перпендикулярно расположенную потоку периферийную перегородку 2. Жидкость проходит через отверстия 3 и поступает в пространство с полыми волокнами 4. Волокна по длине аппарата на равных расстояниях объединены в пучки, для создания переменного сечения

потока жидкости между волокнами, позволяющего увеличить площадь фильтрования и создать перепад давления. Жидкость проникает через пористую структуру волокон, оставляя на их поверхности концентрированные загрязнения. Очищенная вода попадает в патрубок 5 для отвода пермеата (чистой воды). Концентрат в свою очередь выводится из аппарата 6 по патрубку 7.

Можно отметить, что предполагаемое устройство способно увеличить срок эксплуатации по сравнению с аналогичными устройствами за счет увеличения площади фильтрования и скорости фильтрации, снизить скорость осадкообразования. Простота конструкции и использования значительно улучшают его эксплуатацию.

За счет созданного импульсного режима течения жидкости время при пульсирующем движении, отведенное на отключение для промывки поверхности мембран, будет сводиться к нулю. При переменном сечении фильтрующего элемента возможно увеличение скорости фильтрования, исключение потерь времени в процессе фильтроцикла.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Боронина Л.В.* Ресурсосберегающие технологии очистки питьевой воды: постановка проблемы и региональные особенности путей решения / Г.Б. Абуова, С.З. Тажиева, А.Э. Усынина. Волгоград: Волгоградское научное издательство, 2012. 292 с.
- [2] *Духин С.С.* Импульсная ультрафильтрация / С.С. Духин, В.П. Дубяга, А.В. Листовничий, А.А. Поворов // *Химия и технология воды*. 1991. Т. 5. № 10. С. 867.
- [3] *Дытнерский Ю.И.* Мембранные процессы разделения жидких смесей. М.: Химия, 1975. 232 с.
- [4] *Дытнерский Ю.И.* Обратный осмос и ультрафильтрация. М.: Химия, 1978. 358 с.
- [5] *Кретов И.Т., Ключников А.И., Ключников Д.В.* Мембранный аппарат с переменным сечением потока. Патент РФ № 2280496. 2006.
- [6] Мировой и российский мембранный рынок. URL: http://rmnanotech.ru/other_fotos/prilozhenie_43_membrannyj_gynok.doc
- [7] *Поляков С.В.* Об одномерной модели микрофильтрации / С.В. Поляков, Е.Д. Максимов, В.С. Поляков // *Теоретические основы химических технологий*. 1995. Т. 29. № 4. С. 357—361.
- [8] *Поляков Ю.С.* Ультра- и микрофильтрация в полволоконных аппаратах с образованием осадка на поверхности мембран: дисс. ... канд. техн. наук. М., 2004. 150 с.
- [9] *Свитцов А.А.* Введение в мембранную технологию: учеб. пособие. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2006. 170 с.
- [10] *Уизем Дж.* Линейные и нелинейные волны. М.: Мир, 1977. 622 с.
- [11] *Усынина А.Э., Боронина Л.В.* Мембранный полволоконный аппарат очистки воды. Патент РФ № 145817. 2014.
- [12] *Bowen W.R., Jenner F.* Theoretical descriptions of membrane filtration of colloids and fine particles: an assessment and review // *Adv. Colloid Interface Sci.*, 1995. V. 56. P. 141—200.
- [13] *Delgado S., D az F., Vera L., D az R., Elmaleh S.* Modelling hollow-fibre ultrafiltration of biologically treated wastewater with and without gas sparging // *J. Membr. Sci.*, 2004. V. 228. No. 1. P. 55—63.
- [14] *Lacey R.E., Loeb S.* Industrial processing with membranes. N.-Y.: Wiley — Interscience, 1972.
- [15] *Ripperger S., Altmann J.* Crossflow Microfiltration — State of the Art // *Separation and Purification Technol.*, 2002. V. 26. No. 1. P. 19—31.
- [16] *Zeman L.J., Zydney A.L.* Microfiltration and Ultrafiltration: Principles and Applications. N.-Y.: Marcel Dekker, 1996.

NEW APPROACH TO STUDYING OF PROCESS OF ULTRAFILTRATION WITH TURBULENT PULSATIONS AND VARIABLE PRESSURE

A.E. Usynina, L.V. Boronina

ISE chair, Faculty of engineering systems and fire safety
Astrakhan construction institute
Tatishchev str., 18, Astrakhan, Russia, 414056

Article is devoted to membrane methods of preparation of water, the main processes, the membrane devices reducing operational characteristics and also limiting domestic introduction of these technologies. The purpose of modern researches is creation of designs ultrafiltrational the polovolokonnykh of devices with low prime cost, decrease in operational costs of process of ultrafiltration.

Key words: membrane device, polovolokonny filter, ultrafiltration, turbulization, pulse filtration

REFERENCES

- [1] Boronina L.V. Resource-saving technologies of purification of drinking water: statement of a problem and regional features of solutions [Text] / G.B. Abuova, S.Z. Tazhiyeva, A.E. Usynina. Volgograd: Volgograd scientific publishing house, 2012. 292 s. [Boronina L.V. Resursoberegaúšie tehnologii očistki pit'evoy vody: postanovka problemy i regional'nye osobennosti putej rešeniâ [Tekst] / G.B. Abuova, S.Z. Tažieva, A.Ë. Usynina. Volgograd: Volgogradskoe naučnoe izdatel'stvo, 2012. 292 s.]
- [2] Dukhin S.S. Pulse ultrafiltration [Text] / S.S. Dukhin, V.P. DUBYAGA, A.V. Listovnichy, A.A. Povorov // Chemistry and technology of water. 1991. T. 5. No. 10. P. 867. [Duhin S.S. Impul'snaâ ul'trafil'traciâ [Tekst] / S.S. Duhin, V.P. Dubâga, A.V. Listovničij, A.A. Povorov // Himiâ i tehnologiâ vody. 1991. T. 5. № 10. S. 867.]
- [3] Dytner'skiy Yu.I. Membrane processes of division of liquid mixes. M.: Chemistry, 1975. 232 s. [Dytner'skiy Ū.I. Membrannye processy razdeleniâ židkih smesej. M.: Himiâ, 1975. 232 s.]
- [4] Dytner'skiy Yu.I. Return osmosis and ultrafiltration. M.: Chemistry, 1978. 358 p. [Dytner'skiy Ū.I. Obratnyj osmos i ul'trafil'traciâ. M.: Himiâ, 1978. 358 s.]
- [5] Kretov I.T., Key keepers A.I., Key keepers D.V. The membrane device with the variable section of a stream. Patent Russian Federation No. 2280496. 2006. [Kretov I.T., Klûčnikov A.I., Klûčnikov D.V. Membrannyj apparat s peremennym sečeniem potoka. Patent RF № 2280496. 2006.]
- [6] World and Russian membrane market. Access mode: http://rmnanotech.ru/other_fotos/prilozhenie_43_membrannyj_rynok.doc [Mirovoj i rossijskij membrannyj rynek. Režim dostupa: http://rmnanotech.ru/other_fotos/prilozhenie_43_membrannyj_rynok.dos]
- [7] Polyakov S.V. About one-dimensional model of a microfiltration [Text] / S.V. Polyakov, E.D. Maximov, B.C. Poles // Theoretical bases of chemical technologies. 1995. T. 29. No. 4. P. 357—361. [Polâkov S.V. Ob odnomernoj modeli mikrofil'tracii [Tekst] / S.V. Polâkov, E.D. Maksimov, B.C. Polâkov // Teoretičeskie osnovy himičeskikh tehnologij. 1995. T. 29. № 4. S. 357—361.]
- [8] Poles of Yu.S. Ultr — and a microfiltration in the polovolokonnykh devices with formation of a deposit on a surface of membranes [Text]: diss. ... cand. tech. sci. / Polyakov Yu.S. M., 2004. 150 p. [Polâkov Ū.S. Ul'tra — i mikrofil'traciâ v polovolokonnykh apparatah s obrazovaniem osadka na poverhnosti membran [Tekst]: diss. ... kand. tehn. nauk / Polâkov Ū.S. M., 2004. 150 s.]

- [9] Svittsov A.A. Introduction to membrane technology: Manual / Svittsov A.A. RHTU of D.I. Mendeleev, 2006. 170 p. [Svitcov A.A. Vvedenie v membrannuû tehnologiû: uĉebnoe posobie / Svitcov A.A. RHTU im. D. I. Mendeleeva, 2006. 170 s.]
- [10] Uizem J. Linear and nonlinear waves [Text] / Uizem of J. M.: World, 1977. 622 p. [Uizem Dž. Linejnye i nelinejnye volny [Tekst] / Uizem Dž. M.: Mir, 1977. 622 s.]
- [11] Usynina A.E., Boronina L.V. Membrane polovolokonny device of water purification. Patent Russian Federation No. 145817. 2014. [Usynina A.È., Boronina L.V. Membrannyj polovolokonnyj apparat oĉistki vody. Patent RF № 145817. 2014.]
- [12] Bowen W.R., Jenner F. Theoretical descriptions of membrane filtration of colloids and fine particles: an assessment and review // *Adv. Colloid Interface Sci.* 1995. V. 56. P. 141–200.
- [13] Delgado S., Díaz F., Vera L., Díaz R., Elmaleh S. Modelling hollow-fibre ultrafiltration of biologically treated wastewater with and without gas sparging // *J. Membr. Sci.* 2004. V. 228. No. 1. P. 55–63.
- [14] Lacey R.E., Loeb S. Industrial processing with membranes. N.-Y.: Wiley — Interscience, 1972.
- [15] Ripperger S., Altmann J. Crossflow Microfiltration — State of the Art // *Separation and Purification Technol.* 2002. V. 26. No. 1. P. 19–31.
- [16] Zeman L.J., Zydney A.L. Microfiltration and Ultrafiltration: Principles and Applications. N.-Y.: Marcel Dekker, 1996.