

УДК 628.164

ВЛИЯНИЕ МОДЕЛИ ДВИЖЕНИЯ ПОТОКА ЖИДКОСТИ ЧЕРЕЗ МЕМБРАННЫЙ АППАРАТ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЕГО РАБОТЫ

А. Э. Усынина

Астраханский инженерно-строительный институт

Предложено мембранное устройство для очистки воды, представляющее собой полволоконный аппарат, заключенный в корпус. Авторы экспериментально доказали, что изменение модели движения потока жидкости через аппарат способно повысить срок эксплуатации мембранных аппаратов по сравнению с аналогичными устройствами за счет увеличения площади фильтрования и скорости фильтрации, снизить скорость осадкообразования с наименьшими затратами энергетических ресурсов. При этом увеличивается время эксплуатации мембранных аппаратов и снижается скорость осадкообразования на их поверхности.

Ключевые слова: водоочистка, ультрафильтрация, мембранный аппарат, импульсная фильтрация, концентрат, фильтрат.

THE INFLUENCE MODELS OF THE FLUID FLOW THROUGH THE PRESSURE MEMBRANE APPARATUS ON ITS EFFECTIVENESS

A. E. Usynina

Astrakhan Institute of Civil Engineering

In the article are proposed the membrane device for water purification, which represents a hollow fiber apparatus enclosed in a case. The authors experimentally proved that changing the model of flow of liquid through the apparatus is able to increase the life of the membrane devices relative to similar devices at the expense of increasing the area of filtration and the filtration rate, reduce the rate of sedimentation with the lowest cost energy resources. This increases the time of operation of membrane units and reduces the rate of sediment formation on their surface.

Keywords: water purification, ultrafiltration membrane device, pulse filter, concentrate the filtrate.

В результате многолетнего опыта эксплуатации мембранных установок выявлено, что концентрационная поляризация является одним из главных факторов, снижающих интенсивность баромембранных технологий [1, 2].

При рассмотрении гидродинамических процессов, происходящих в ультрафильтрационных аппаратах, установлено, что при увеличении концентрации тяжелого слоя (концентрата) на поверхности мембраны при постоянном давлении скорость фильтрования снижается [3]. Как правило, развитие мембранных технологий направлено на снижение концентрационной поляризации, вызванной повышением концентрации задерживаемых мембраной частиц у ее поверхности, при создании определенного течения жидкости вдоль поверхности мембран.

Возникает вывод о необходимости разработки и внедрения новой модели движения потока жидкости через мембранный аппарат.

Цель эксперимента заключалась в изучении селективных свойств мембранного аппарата. Лабораторные исследования проводились на мембранной установке, показанной на рис. 1. Исходная вода помещалась в бак 1, откуда насосом 2 подавалась в мембранный аппарат 3. Для поддержания температуры обрабатываемой воды на заданном уровне служил теплообменник 8, в который подавали водопроводную воду соответствующей температуры. Фильтрат направлялся в бак 5, а концентрат – в бак 4. Ра-

бочее давление устанавливалось регулировочным вентилем на байпасной линии 6. Расход концентрата устанавливался вентилем 7. Измерение расходов фильтрата и концентрата производилось с помощью мерной посуды (может производиться с помощью ротаметров).

Установка работала в циркуляционном режиме, в этом случае концентрат возвращался в бак исходной воды 1; при работе установки в циркуляционном режиме за счет отбора фильтрата происходило постоянное увеличение кратности концентрирования.

Путем отбора проб каждые 30 мин. по 100 мл фиксировались данные о скорости фильтрования в мембранном аппарате и концентрации соледержания в полученном пермеате и концентрате.

Данные, полученные в ходе эксперимента, сведены в таблицу 1 [4].

Как видно из таблицы 1, в процессе эксперимента происходили изменения расходов фильтрата и концентрата воды с течением времени.

Качество фильтрата в значительной степени определялось соотношением расходов фильтрата и концентрата. В зависимости от величины выхода фильтрата (отношения расхода фильтрата к общему расходу воды) менялась концентрация солей в фильтрате, исходной воде и концентрате после прохождения мембранного аппарата (рис. 2).

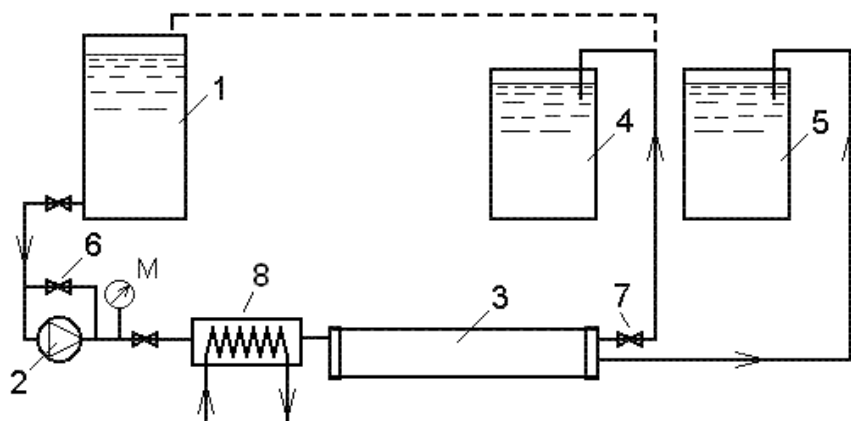


Рис. 1. Схема лабораторной мембранной установки: 1 – бак исходной воды; 2 – насос; 3 – мембранный аппарат; 4 – бак сбора концентрата; 5 – бак сбора фильтрата; 6 – байпасная линия для регулировки давления; 7 – вентиль регулировки расхода концентрата; 8 – теплообменник

Таблица 1

Экспериментальные данные значений скорости фильтрации в течении заданного промежутка времени

t , мин.	$Q_{\text{фильтра}}$, л/ч	$Q_{\text{концентрата}}$, л/ч	$C_{\text{исходной воды}}$, мг/л	$C_{\text{фильтра}}$, мг/л	Выход фильтрата, %	$C_{\text{концентрата}}$, мг/л	Жесткость, мг/л
0	7,8	3,6	520	40	92,3	1135	7,47
30	8,16	3,348	455	50	89,01	1190	5,69
60	8,64	3,72	400	48,5	87,88	1140	4,79
90	9,48	4,08	378	42,6	88,73	1134	3,77
120	9,6	3,84	375	40	89,33	1070	3,56

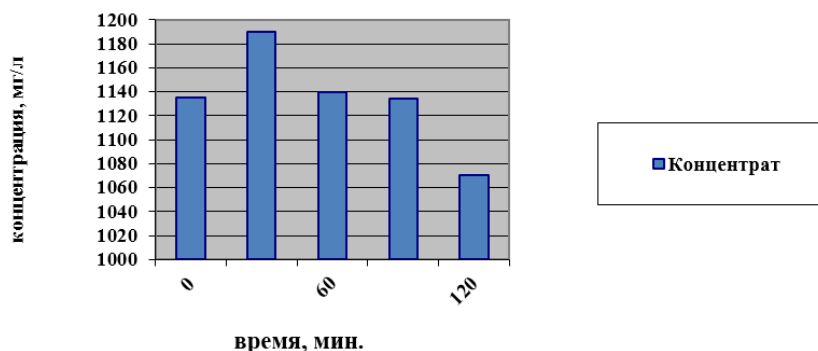


Рис. 2. Изменение селективности мембран по различным ионам на разных стадиях осадкообразования: а) исходная вода; б) фильтрат; в) концентрат

При движении потока жидкости через мембранный аппарат с турбулентными пульсациями при переменном давлении увеличивается скорость фильтрации. В результате возникающей пульсации в потоке увеличивается производительность системы в целом. Подобный процесс принято называть импульсной фильтрацией [5].

В процессе важно установить оптимальную продолжительность паузы пульсации и длительность фильтрации между паузами. Помимо этого, на выбор величины параметров процесса влияют характеристики мембран и осадка, например, их гидродинамические сопротивления [6].

Для конкретной мембраны или аппарата можно допустить, что при импульсной ультрафильтрации сохраняется обычное значение скорости фильтрации. Длительность паузы T_1 должна обеспечивать удаление осадка, накопившегося за время T_2 . Количество приходящегося на единицу поверхности мембраны вещества M_2 , накопившееся за время T_2 , пропорционально скорости фильтрации, концентрации при скорости фильтрации и концентрации примеси в основном потоке C_0 , омывающем мембрану, и определяется:

$$M_2 = vC_0T_2 \quad (1)$$

Таким образом, условие стабилизации гидродинамического сопротивления осадка

при импульсной ультрафильтрации можно записать как

$$M_2 = M_1(T_1), \quad (2)$$

где M_1 – количество осадка, удаляемого с мембраны за время T_1 .

Если T_2 слишком мало, то

$$M_1 < M_2 \quad (3)$$

и сопротивление осадка будет нарастать во времени, а скорость фильтрации падать.

В процессе реализации импульсного фильтрования исключается многократное снижение скорости фильтрации. Однако это происходит за счет относительной потери времени (4)

$$\frac{T_1}{T_1 + T_2}, \quad (4)$$

так как в течении длительности паузы T_1 разделение смеси не осуществляется, в процессе фильтрования через мембрану на ее поверхности образуется осадок с течением времени (рис. 3) (5).

$$M_n = vCt_n \quad (5)$$

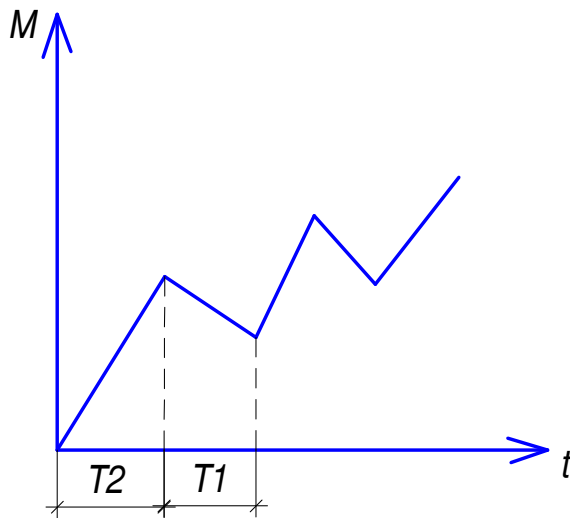


Рис. 3. Зависимость массы осадка от времени, характеризующая режимы пульсирующей ультрафильтрации

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 потока жидкости возможно увеличить скорость фильтрования, исключить потери времени в процессе фильтрования.

Как видно из графика на рис. 4, при пульсирующей ультрафильтрации на мембранном аппарате с переменным сечением фильтрующих волокон рост осадка на поверхности мембраны происходит медленнее и способствует увеличению его гид-

Как видно из графика на рис. 3, при пульсирующей ультрафильтрации рост осадка на поверхности мембраны ведет к увеличению его гидродинамического сопротивления, которое может многократно повысить гидродинамическое сопротивление мембраны. Поэтому важнейшими параметрами импульсной ультрафильтрации являются продолжительность паузы и длительность фильтрации между паузами.

Полностью устранить проблему возникновения повышенного гидродинамического сопротивления мембраны при интенсификации тангенциального течения невозможно [5]. Необходимо искать новые пути удаления осадка с поверхности мембраны или предотвращения осадкообразования.

За счет увеличения эффективности мембранного разделения предлагается создать импульсное движение в аппарате, исключив паузы, для удаления осадка в процессе фильтрования за счет созданного переменного сечения потока (рис. 4).

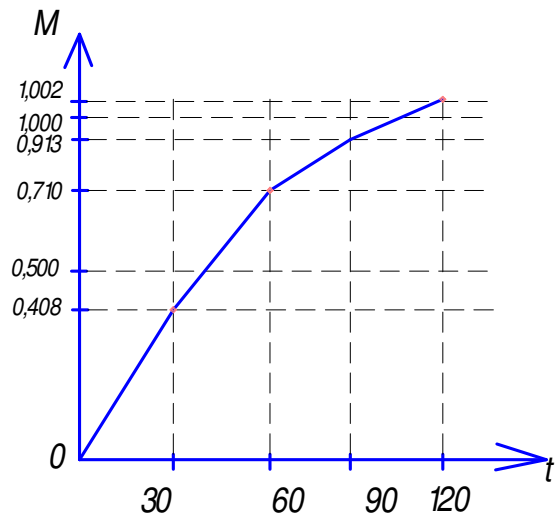


Рис. 4. Зависимость массы осадка от времени, характеризующая режим ультрафильтрации на мембранном аппарате с переменным сечением фильтрующих волокон

родинамического сопротивления. Длительность фильтрации T_2 достигает наибольших показателей, периодичность отключения аппарата на промывку T_1 существенно снижается.

Для характеристики эффективности импульсной ультрафильтрации введено понятие средней скорости фильтрации, определяемой [7]:

$$\bar{v}_2 = \frac{1}{T_2} \int_0^{T_2} v_2(t) dt \frac{T_2}{T_1 + T_2} = \int_0^{T_2} v_2(t) dt \frac{1}{T_1 + T_2} = \frac{\bar{v}_2 T_2}{T_1 + T_2}, \quad (6)$$

где

$$\bar{v}_2 = \frac{1}{T_2} \int_0^{T_2} v_2(t) dt, \quad (7)$$

если

$$\bar{v} > v^*. \quad (8)$$

Вследствие медленного убывания скорости фильтрации до стационарного значения v^* может оказаться, что условие (8) в начале процесса нарушено, а начинается выполняться через определенный промежуток времени (рис. 5).

Достичь таких высокотехнологичных параметров процесса подготовки воды путем ультрафильтрационного разделения возможно на созданном полволоконном аппарате очистки воды [8] (рис. 6).

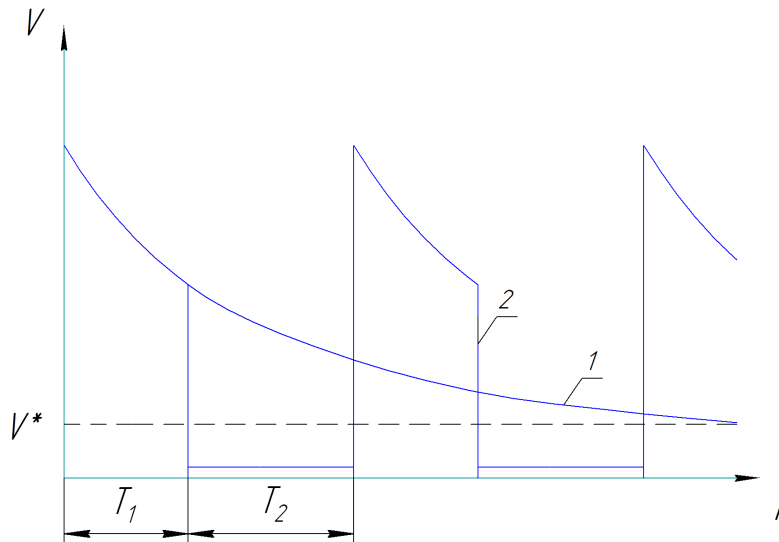


Рис. 5. Получение зависимости скорости фильтрации v от времени t :
1 – кривая, характеризующая обычный спад фильтрации;
2 – кривая, характеризующая скорость фильтрования при «импульсной» фильтрации

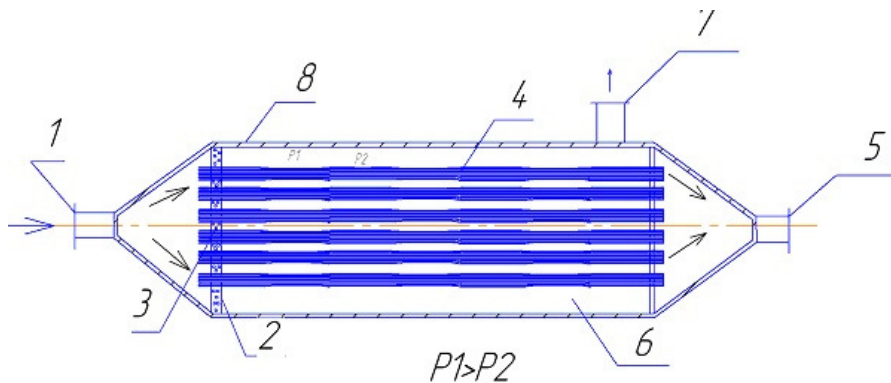


Рис. 6. Мембранный полволоконный аппарат с созданным переменным сечением потока:
1 – патрубок для подачи исходной воды; 2 – периферийная перегородка; 3 – отверстия; 4 – полые волокна; 5 – патрубок для отвода пермеата (чистой воды); 6 – мембранный аппарат; 7 – патрубок для отвода пермеата; 8 – корпус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

Мембранный полволоконный аппарат заключен в корпус. На входе в аппарат 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. Патрубки для подвода исходной воды и отвода очищенной жидкости расположены на входе и на выходе 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 расположенную перпендикулярно 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 фильтрации и достичь перепада 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 фильтрации и скорости фильтрации, снизить скорость осадкообразования с наименьшими энергозатратами. Простота конструкции и использования значительно улучшают его эксплуатацию.

Список литературы

1. Боронина Л. В. Исследование влияния турбулентной пульсации на концентрационную поляризацию мембран // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. 2012. № 29 (48). С. 186.
2. Боронина Л. В. О повышении эксплуатационных характеристик мембран // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. 2012. № 29(48). С. 190.
3. Жарких Н. И., Духин С. С. Формирование динамической мембраны в процессе гелеобразования // Химия и технология воды. 1987. Т. 9, № 1. С. 16–19.
4. Усынина А. Э., Боронина Л. В., Кабекенова М. К. Ультрафильтрационная очистка воды с применением нового мембранного аппарата // Всероссийская молодежная конференция «Инновации и технологии Прикаспия». Всероссийская научно-практическая конференция «Исследования молодых ученых – вклад в инновационное развитие России»: доклады программы «У.М.Н.И.К.» (г. Астрахань, 10–13 октября 2012 г.) / сост. Р. М. Зарипов. Астрахань: Изд. дом «Астраханский университет», 2012. Т. 2. С. 174–176.
5. Боронина Л. В., Абуова Г. Б., Тажиева С. З., Усынина А. Э. Ресурсосберегающие технологии очистки питьевой воды: постановка проблемы и региональные особенности путей решения. Волгоград: Волгоградское науч. изд-во, 2012. 292 с.
6. Марцулевич Н. А., Гомолецкий В. Н., Чесноков Ю. Г., Смирнов Н. Н. Гидродинамика мембранных аппаратов с полыми волокнами // Журнал прикладной химии. 1989. Т. 63, № 3. С. 578–580.
7. Поляков С. В., Максимов Е. Д., Поляков В. С. Об одномерной модели микрофильтрации // Теоретические основы химических технологий. 1995. Т. 29, № 4. С. 357–361.
8. Мембранный половолоконный аппарат очистки воды: патент РФ № 145817, 2014 / А. Э. Усынина, Л. В. Боронина.

© А. Э. Усынина

Ссылка для цитирования:

Усынина А. Э. Влияние модели движения потока жидкости через мембранный аппарат на эффективность его работы // Инженерно-строительный вестник Прикаспия: научно-технический журнал / Астраханский инженерно-строительный институт. Астрахань: ГАОУ АО ВПО «АИСИ», 2015. № 3 (13). С. 45–49.

УДК 628.2

ОСОБЕННОСТИ ОЧИСТКИ ОБОРОТНЫХ ВОД РЫБОВОДНЫХ АКВАТОРИЙ РАДИАЛЬНО-ВОСХОДЯЩИМ ФИЛЬТРОВАНИЕМ

Н. С. Серпокрялов, Л. В. Боронина, С. З. Тажиева

*Ростовский государственный строительный университет
Астраханский инженерно-строительный университет*

В условиях развития промышленного воспроизводства ценных пород рыб и негативно изменяющихся показателей качества водоисточников предложены технологические схемы и конструкции фильтров очистки оборотных вод рыбоводных акваторий с применением местных фильтрующих материалов. Изучена кинетика остаточных концентраций загрязнителей в воде после очистки.

Ключевые слова: аммиак, цеолиты, рыбоводный пруд, радиальный фильтр.

PURIFICATION FEATURES OF RECIRCULATING WATERS IN FISH-BREEDING WATER AREAS BY THE RADially UPWARD FILTERING

N. S. Serpokrylov, L. V. Boronina, S. Z. Tazhieva

*Rostov State University of Civil Engineering
Astrakhan Institute of Civil Engineering*

In terms of industrial development on the reproduction of valuable fish species and negatively varying levels of quality water sources suggested technological schemes and designs filter cleaning circulating water fish waters with the local filtering materials. The kinetics of the residual concentration of pollutants in the ode after cleaning.

Keywords: ammonia, zeolites, fish pond, radial filter.