

# Оптимизация процесса обработки воды методом ультрафильтрации

А. П. Андрианов, инж. (МГСУ); А. Г. Первов, д-р техн. наук (ГНЦ РФ НИИ ВОДГЕО)

Все больше внимания в настоящее время уделяется поиску новых перспективных методов очистки воды, более компактных, дешевых, простых в эксплуатации по сравнению с традиционными. К их числу относятся мембранные методы: ультрафильтрация и нанофильтрация.

Оба процесса имеют сходное аппаратное оформление, но в технологическом плане имеются принципиальные различия. Если при эксплуатации нанофильтрационных установок накопившиеся в процессе работы на поверхности мембран осадки (задержанные из воды загрязнения) удаляются с помощью химических промывок (т. е. с применением реагентов), то при эксплуатации ультрафильтрационных мембран удаление загрязнений с поверхности мембран производится обратным током, как у фильтров с зернистой загрузкой. Поэтому безреагентная ультрафильтрация считается за рубежом технологией будущего [1; 2].

Ультрафильтрация – это мембранный процесс, занимающий промежуточное положение между нанофильтрацией и микрофильтрацией. Ультрафильтрационные мембраны имеют размер пор от 20 до 1000 Å (или 0,002–0,1 мкм) и позволяют задерживать тонкодисперсные и коллоидные примеси, макромолекулы (нижний предел молекулярной массы составляет несколько тысяч), водоросли, одноклеточные микроорганизмы, цисты, бактерии и вирусы. Таким образом, использование мембранной ультрафильтрации для очистки воды позволяет сохранить ее солевой состав и осуществить осветление и обеззараживание воды без применения химических веществ, что делает эту технологию перспективной с экологической и экономической точек зрения.

Технология обработки воды с помощью ультрафильтрационных мембран заключается в «тупиковой» фильтрации воды через мембрану без сброса концентрата. Такой режим работы позволяет сократить расход воды на собственные нужды станции очистки и уменьшить ее общее энергопотребление. Процесс фильтрования длится 20–60 мин, после чего следует обратная промывка мембраны. Для этого часть очищенной воды под давлением подается в фильтратный тракт в течение 20–60 с. В процессе обратной промывки вода уносит с поверхности мембран слой накопившихся загрязнений. На рис. 1 показаны устройство и схема работы ультрафильтрационных рулонных элементов.

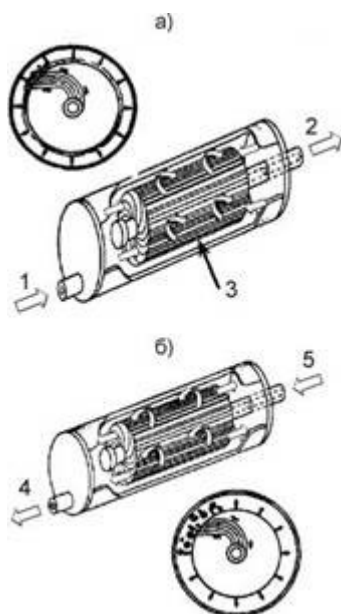


Рис. 1. Ультрафильтрационный модуль

а - рабочий режим; б - режим промывки; 1 - исходная вода; 2 - фильтрат; 3 - рулонный элемент; 4 - сброс концентрата; 5 - обратная промывка фильтратом

В процессе длительной работы производительность мембранных аппаратов постепенно уменьшается, так как на турбулизаторной сетке, на поверхности и на стенках пор мембран сорбируются различные вещества и отлагаются частички загрязнений, увеличивающие общее гидравлическое сопротивление мембранных аппаратов. Для восстановления первоначальной производительности несколько раз в год проводится химическая промывка мембранных аппаратов специальными кислотными и щелочными реагентами для удаления накопленных загрязнений.

При конструировании систем очистки воды на основе метода ультрафильтрации основной задачей, встающей перед проектировщиком, является правильное определение продолжительности прямого фильтрования, а также частоты и интенсивности обратных промывок. Эти параметры зависят от качества исходной воды и определяются исходя из оптимальных соотношений производительности ультрафильтрационной установки и ее общего водопотребления [3]. Правильный выбор режима промывки обеспечивает эффективную работу установки, заключающуюся в длительном сохранении производительности и качества фильтрата. Авторами на примере обезжелезивания подземной воды была разработана методика поиска оптимальных параметров работы ультрафильтрационной установки.

Эффективность обратной промывки зависит от ее интенсивности (при неизменном давлении промывки можно оперировать длительностью обратной промывки)  $\tau$  и интервала между промывками (продолжительность фильтроцикла)  $t$ . При заданном времени  $\tau$  эффективность работы установки зависит от продолжительности  $t$ : чем меньше  $t$ , тем эффективнее проходит отмывка мембраны от загрязнений, но тем больше образуется промывной воды. Исследования по оптимизации процесса обратной промывки ставят целью определить такие значения  $\tau$  и  $t$  для различного состава обрабатываемой воды, которые соответствуют наибольшему количеству очищенной воды, полученной в течение времени  $T$ . Исследования проводились на модельных растворах хлорида железа (III) на ультрафильтрационных мембранах марки УАМ-150. На рис. 2 показано снижение производительности мембранного аппарата с течением времени для разных концентраций железа в исходной воде.

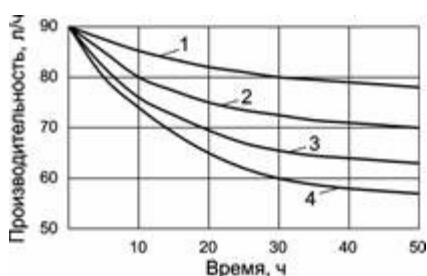


Рис. 2. Снижение производительности мембранных аппаратов во времени при различных концентрациях железа в исходной воде, мг/л

1 - 5; 2 - 10; 3 - 15; 4 - 20

Для определения оптимальных величин продолжительности фильтроцикла и промывки проводилось несколько серий экспериментов с различной продолжительностью обратной промывки. В каждой серии при фиксированной длительности обратной промывки менялась

продолжительность фильтроцикла. Зависимости объема фильтрата и промывной воды от времени работы установки для одной серии экспериментов приведены на рис. 3 (продолжительность обратной промывки 30 с).

Поиск оптимальных соотношений длительности фильтроцикла и промывки производится по максимальной полезной производительности мембранного аппарата, которую можно определить как  $V_{\text{полезн}} = V_{\text{ф}} - V_{\text{пр}}$ . Сначала оптимальные точки находились отдельно для каждой продолжительности промывки. На рис. 4 показано определение оптимальной продолжительности фильтроцикла при длительности промывки 30 с. Затем полученные кривые зависимости полезного объема чистой воды от продолжительности фильтроцикла сводятся в один график (рис. 5), и по точкам максимумов этих кривых строится результирующая кривая, которая позволяет определить максимальное количество очищенной воды в зависимости от  $t$  и  $\tau$  и соответственно найти оптимальную длительность обратной промывки. Эксперименты по приведенному алгоритму определения точки оптимума повторяются для различных концентраций железа в исходной воде.

Таким образом, полученные в результате проведенных экспериментов данные могут использоваться в качестве рекомендаций при разработке систем обезжелезивания на основе мембранной ультрафильтрации.

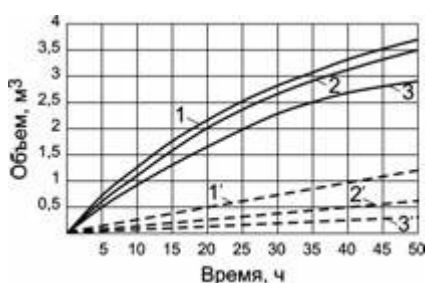


Рис. 3. Зависимость объема фильтрата (сплошная линия) и промывной воды (пунктирная линия) от времени работы установки при длительности промывки 30 с

продолжительность фильтроцикла, мин: 1, 1ϕ - 15; 2, 2ϕ - 30; 3, 3ϕ - 60

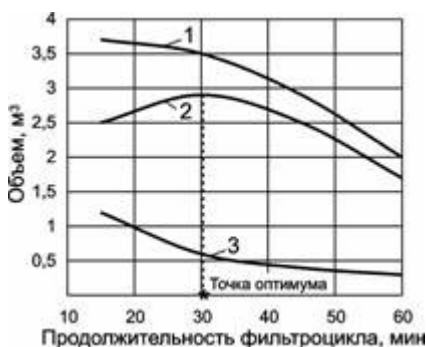


Рис. 4. Определение оптимальной продолжительности фильтроцикла при длительности обратной промывки 30 с

1 -  $V_{\text{ф}}$ ; 2 -  $V_{\text{полезн}}$ ; 3 -  $V_{\text{пр}}$

Помимо указанных выше параметров на эффективность работы мембранных аппаратов влияет величина давления: рабочего и обратной промывки. При определении точки оптимума необходимо учитывать не только полезную производительность, но и объемы исходной и сбрасываемой в канализацию воды, при этом вычисление оптимальных соотношений длительности промывки и фильтроцикла производится на основе экономических расчетов.



Рис. 5. Определение оптимальной продолжительности промывки для разной продолжительности фильтроцикла продолжительность обратной промывки, с: 1 - 15; 2 - 30; 3 - 45; 4 - 60; пунктир - оптимум

В результате исследований разработаны технологические схемы и конструкции установок, предназначенных для обработки подземных вод с повышенным содержанием железа. В зависимости от состава исходной воды производится выбор той или иной модификации установок, отличающихся устройством аэрации и маркой используемых мембран. Вместе с удалением железа на установках обеззараживают воду без использования реагентов, удаляют сероводород и осветляют воду в случае выноса из скважины глинистых частиц.

Метод обезжелезивания воды с помощью ультрафильтрации рекомендуется применять при следующих показателях качества исходной воды: железо общее – не более 40 мг/л; щелочность – не более  $(1+Fe_2+/28)$  мг-экв/л; рН – не менее 6 (водородный показатель воды после аэрации должен быть не менее 6,7-7); содержание  $H_2S$  – не более 5 мг/л; перманганатная окисляемость – не более 6-10 мг/л.

При содержании железа до 5 мг/л и сероводорода до 2 мг/л применяется схема с упрощенной аэрацией и фильтрованием на мембранах типа УАМ-500 и УАМ-1000. При содержании железа до 20-40 мг/л и сероводорода выше 2 мг/л используется аэрация эжектированием или барботированием и дополнительная упрощенная аэрация. При содержании в исходной воде трудноокисляемого железа, низких значениях рН и отсутствии растворенной углекислоты степень аэрации увеличивается. В зависимости от продолжительности процесса окисления двухвалентного железа и расчетной производительности установки обезжелезивания назначается объем аэрационных сооружений.

При наличии в исходной воде грубодисперсных примесей и песка в начале технологического тракта предусматривается сетчатый самопромывающийся фильтр с размером ячеек 100- 200 мкм. Внешний вид и принципиальная технологическая схема установки приведены на рис. 6 и 7. В зависимости от содержания железа и мутности исходной воды потребление воды на собственные нужды станции составляет не более 3-5 %, удельная потребляемая мощность 1,5-2 кВт·ч/м³.

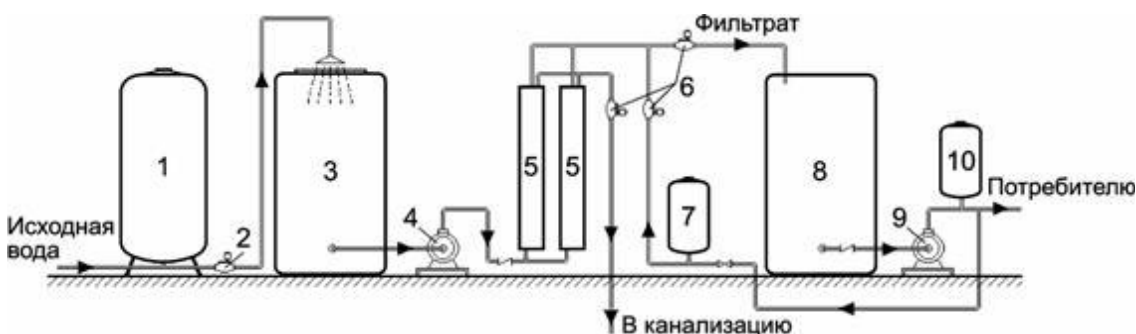


Рис. 7. Технологическая схема обезжелезивания подземных вод с использованием ультрафильтрации (при содержании железа в исходной воде не более 5 мг/л)

1 - регулирующая напорная емкость с реле давления; 2 - магнитный клапан на входе в установку; 3 - бак-аэратор; 4 - рабочий насос; 5 - блок рулонных ультрафильтрационных модулей; 6 -

магнитные клапаны обратной промывки; 7 - напорный бак обратной промывки; 8 - бак-накопитель очищенной воды; 9 - сетевой насос; 10 - напорный сетевой бак с реле давления

## **Выводы**

Теоретически обоснован и разработан процесс очистки воды методом ультрафильтрации. Предложена методика расчета параметров эксплуатации систем ультрафильтрации, на основании которой в зависимости от состава очищаемой воды назначаются: величина рабочего давления, продолжительность фильтроцикла, время обратной промывки, процент расхода воды на собственные нужды станции. Разработанные рекомендации легли в основу создания систем ультрафильтрации, используемых НИИ ВОДГЕО для обезжелезивания воды и улучшения качества водопроводной воды на объектах водоснабжения.

## **Список литературы**

1. Первов А. Г., Мотовилова Н. Б., Андрианов А. П. Ультрафильтрация – технология будущего // Водоснабжение и сан. техника. 2001. № 9.
2. Laine J.-M., Vial D., Moulart P. Status after 10 years of operation – overview of UF technology today // Proc. of the Conf. on Membranes in Drinking and Industrial Water Production (Paris, 3-6 October). - 2000. V. 1.
3. Mores W. D., Bowman C. N., Davis R. H. Theoretical and experimental flux maximization by optimization of backpulsing // J. Membr. Sci. 2000. № 165.