

УДК 542.816

Kopyrin Makar Pavlovich

Магистрант, аспирант кафедры «Водного хозяйства и технологии воды» Уральского
федерального университета

Master's student, postgraduate student of the Department of Water Resources and Water
Technology, Ural Federal University

Nikolaev Nikolay Alekseevich

кандидат экономических наук, доцент кафедры «Экономики труда и управления
персоналом»

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor
Department of Labor Economics and Personnel Management

**АКТУАЛЬНЫЕ ИННОВАЦИОННЫЕ СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ
ОЧИЩЕННОЙ ВОДЫ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ
CURRENT INNOVATIVE WAYS FOR OBTAINING PURIFIED
WATER IN MODERN CONDITIONS**

Аннотация: Статья посвящена исследованию систем получения воды для инъекций с использованием устройств предочистки, мембран обратного осмоса и стерилизатора. Методом сравнительного анализа исследованы способы получения очищенной воды и воды для инъекций. Теоретически обосновано и рассчитано, что технология получения очищенной воды с использованием систем двухступенчатого обратного осмоса и ультрафиолетового стерилизатора является наиболее экономически эффективной и позволяет получать воду требуемого качества.

Abstract: The article is devoted to the study of systems for producing water for injection using pre-purification devices, reverse osmosis membranes and a sterilizer. Methods for obtaining purified water and water for injection were studied using the method of comparative analysis. It has been theoretically justified and calculated that the technology for producing purified water using two-stage reverse osmosis systems and an ultraviolet sterilizer is the most cost-effective and allows obtaining water of the required quality.

Ключевые слова: очищенная вода, вода для инъекций (сверхчистая вода), обратный осмос, ультрафиолетовый стерилизатор, установка ультрафильтрации.

Key words: purified water, water for injection (ultrapure water), reverse osmosis, ultraviolet sterilizer, ultrafiltration unit.

Цель статьи – обзор и сравнение технико-экономических показателей современных способов получения очищенной воды и воды для инъекций и их сравнение.

Актуальность исследования.

Вода для инъекций используется как растворитель для приготовления лекарственных растворов. Для данной медицинской воды фармакопейной статьей ФС.2.2.0019.18 установлены жесткие требования, более строгие чем для дистиллированной воды, поэтому получение воды для инъекций возможно только при использовании мембранных установок и установок обеззараживания. Обратный осмос является стандартным методом глубокой очистки воды. Очищенная вода подается в накопитель с микросеткой для вентиляции без проникновения загрязнений, но требуется запасное обеззараживание после накопителя и возможен выбор между ультрафиолетовым стерилизатором и ультрафильтрационными мембранами, которые способны задерживать бактерии и вирусы перед подачей потребителю.

Характеристики и описание способов ультрафильтрации и ультрафиолетового обеззараживания даны в работах: Начевой М.В. [3], Медведева Д.Д.[4], Поворова А.А.[5], Романова В.С.[6], Курыхалова Д.П.[7], Волковой С.Н.[8], Шевкунова С.Н.[9], Коженова Ю.В.[10].

В изученных источниках не удалось обнаружить исследований, в которых приводится сравнение ультрафильтрации и ультрафиолетовых фильтров как способов обеззараживания воды после осмоса. Присутствуют ограниченные данные по стоимости установок. Исходя из этого считаем обзор технологий доочистки для получения сверхчистой воды пригодной для инъекций актуальной научно-практической задачей [15].

Описание требований к воде очищенной и воде для инъекций

Источником получения воды очищенной и воды для инъекций является как правило, хозяйственный водопровод. Данная первичная (хозяйственная) вода применяется для промывания оборудования и инструментов, а также для получения более чистых типов воды (очищенной и для инъекций) [11]. Также эта вода может быть использованной для первичной обмывки посуды, или при медицинском производстве, не имеющем строгого нормирования [12] [13] [14].

Вода для инъекций – обессоленная вода, которая используется для производства или изготовления парентеральных и других лекарственных средств. Вода для инъекций должна быть безопасной в эпидемическом и химическом отношении, быть без присадок. Способами получения воды для инъекций являются выпаривание, ионный обмен, обратный осмос, также сочетание этих методов [2]. Если возникает необходимость создать запас воды для инъекций на срок до суток, ее следует подвергнуть обеззараживанию. В условиях, когда невозможно попадание микроорганизмов в воду для инъекций, она может храниться не более суток в диапазонах температуры 5-10 °С или 80-95 °С.

Вода очищенная – обессоленная вода, которая используется для промывки медицинских приборов и аппаратуры. Требования к очищенной воде и воде для инъекций практически совпадают, разница состоит только в степени обессоливания, поэтому для получения очищенной воды требуется меньшее количество корпусов мембран, чем для получения воды для инъекций.

Факторы требующие очистки водопроводной воды до воды пригодной для инъекций

Вода, протекающая в водопроводе, содержит мелкие частицы железа – вследствие коррозии поверхности труб, молекулярное железо Fe^{3+} присущее природной воде, микроорганизмы, крупную и молекулярную органику, хлор в разной форме, соли и ионы Ca^{2+} и Mg^{2+} и других элементов. Чтобы удалить эти элементы и получить сверхчистую воду пригодную для приготовления

инъекционных растворов применима обобщенная схема водоподготовки (см. Рис. 1).



Рис. 1 – Ключевые этапы получения сверхчистой воды

Предочистка представляет собой удаление всех частиц кроме ионов поскольку крупные и мелкие механические частицы являются источником мутности воды. Эти элементы способны забивать клапаны, микрофильтры и разрушать мембраны обратного осмоса. Размер таких коллоидных частиц составляет десятые доли микрона, их состав может быть органический, или минеральный. Именно эти мельчайшие частицы способны постепенно уничтожить мембраны аппаратов обратного осмоса и вызвать рост электрической проводимости воды. Ионы металлов и ионы хлора, карбонат-ионы называются анионами (поскольку заряжены отрицательно) и катионы (положительно заряженные ионы). Концентрация этих микрочастиц и составляет удельную электропроводность воды. Обратносмотические мембраны задерживают подавляющее большинство ионов. Доочистка подразумевает собой удаление малого остатка ионов и конечное обеззараживание воды.

1. Метод двухступенчатого обратного осмоса.

Данный метод применяется позволяет получить дистиллированную воду по ФС.2.2.0019.18 «Вода для инъекций».



Рис.2 – Установка 2-ухступенчатого обратного осмоса

Достоинства 2-х ступенчатого обратного осмоса следующие:

- Меньшие затраты на электроэнергию;
- Малые расходы на эксплуатацию;
- Получение особо чистой воды;
- Возможен сбор концентрата 2 ступени и его возвращение в исходную воду перед установкой, что создает эффект роста отбора фильтрата, т.е. уменьшается выброс воды в канализацию.

Двухступенчатый о.о является надёжнейшим способом получения сверхчистой воды, и процессом, упрощающим работу устройств доочистки. Существуют основные технологические схемы обратного осмоса с двумя ступенями:

Две ступени + буферная емкость;

Только 2 ступени;

Вариант с ёмкостью упрощает систему контроля, но контакт с воздухом фильтрата первичной ступени вызывает возрастание проводимости во вторичном пермеате.

Вода, подучаемая только двухступенчатым обратным осмосом, соответствует требованиям ФС.2.2.0019.18 Вода для инъекций , однако вода для инъекций перед использованием должна проходить превентивную

стерилизацию, поэтому следует применять осмос в сочетании с ультрафиолетом или ультрафильтрацией [15].

2. *Метод двухступенчатого осмоса в комплексе с установкой ультрафильтрации.*

Мембранные методы делятся на обратный осмос (гиперфильтрацию, ОО.), ультрафильтрацию (УФ) и нанофильтрацию. Ультрафильтрацией удаляются примеси в воде размером более 0,01 мкм. Применимость ультрафильтрации для обеззараживания воды объясняется задержанием бактерий и вирусов, её эффективностью, экологичностью. УФ является достаточно энергоэффективным способом очистки воды, поскольку аппараты способны работать при нормальном давлении. Область применения УФ дана на рисунке 3 [26].

Размеры, мкм	Ионный уровень	Молекулярный уровень	Макромолекулярный уровень	Уровень микрочастиц		Уровень макрочастиц	
	0,01	0,01	0,1	1,0	10	100	1000
Приблизительный молекулярный вес	100–200	1000–10 000	20 000–100 000	500 000			
Диапазон размеров частиц различных веществ, содержащихся в воде	ИОНЫ МЕТАЛЛОВ	СОЛИ	ВИРУСЫ ГУМИНОВЫЕ	ГЛИНЫ АСБЕСТОВЫЕ ВОЛОКНА	БАКТЕРИИ ВОДОРОСЛИ	ИЛ	ПЕСОК
Процесс разделения	ОБРАТНЫЙ ОСМОС	НАНОФИЛЬТРАЦИЯ	УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИЯ	МИКРОФИЛЬТРАЦИЯ	ТРАДИЦИОННЫЕ ФИЛЬТРАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ		

Рис.3 – Область применения технологии УФ



Рис.4 – Установка ультраfiltrации расходом до 10 м³/ч

Существуют три режима работы УФ установки:

- С поперечным потоком;
- С частичным сбросом концентрата;
- С тупиковой фильтрацией.

В 2 первых схемах очищаемая вода движется вдоль поверхности мембраны, при этом фильтрат проходит сквозь мембрану, а концентрат с загрязнениями отводится из мембранного модуля. В тупиковой схеме фильтрации вся исходная вода проходит через мембрану, а образовавшийся на стенке мембраны слой загрязнений удаляется периодическими обратными и прямыми промывками. Неприятное свойство тупикового режима при фильтрации мутных и обработанных реагентом вод – интенсивное образование осадка на мембране. Однако для воды прошедшей фильтрование двухступенчатым обратным осмосом тупиковый способ считается наиболее предпочтительным, поскольку очищенная вода не имеет крупных включений, то и нет потребности уменьшать концентрационную поляризацию поскольку не возникает осадка. Принимая к работе тупиковый метод, следует обратить внимание на полезную долю производительности установки и как потребляется энергия. По совокупным

данным для тупикового режима фильтрации доля полезной производительности находится в пределах 55-98 % , а у режима с поперечным потоком в пределах 75-96 % и по сути тупиковый режим является более экономичным. Однако при тупиковой фильтрации средняя производительность мембран ниже, что увеличивает капитальные затраты на систему очистки. Важный параметр – потребление электроэнергии, при тупиковой фильтрации оно составляет 180-220 Вт*ч/м³ [16].

3. Метод двухступенчатого осмоса в комплексе с ультрафиолетовым стерилизатором.

Основным положительным качеством ультрафиолета перед мембранной очисткой является то что бактерицидное излучение уничтожает вегетативные и спорообразующие бактерии, а не задерживают их на своей поверхности. Расход электроэнергии на обеззараживание глубоко очищенной воды не превышает 10 Вт*ч/м³ [16],[17]. Удобство системы ультрафиолетового обеззараживания состоит в её компактности и экономичности. Установка ультрафиолетового обеззараживания на расход 1-5 м³/ч приведена на рисунке 5.



Рис.5 – Установка ультрафиолетового обеззараживания расходом 1-5 м³/ч

Таблица 1

Характеристики методов фильтрации и стерилизации воды

Название метода	2-х ступенчатый осмос (дистилляция)	2-х ступенчатый осмос + ультрафильтрация	2-х ступенчатый осмос + ультрафиолет
Краткое описание технологии	+ Получение сверхчистой воды; + Общее солесодержание фильтрата ≤ 5 ppm; + Большая степень концентрирования, если степень использования воды является критическим параметром.	+ Получение сверхчистой воды; + Общее солесодержание фильтрата ≤ 5 ppm; + Малая энергоёмкость процесса, - Необходимость электрической энергии для работы; - Необходимость промывок.	+ Получение сверхчистой воды; + Общее солесодержание фильтрата ≤ 5 ppm; + Компактность; + Экономичность;
Качество очищенной воды	ГОСТ 6709-72 «Вода дистиллированная»	ФС.2.2.0019.18 «Вода для инъекций»	ФС.2.2.0019.18 «Вода для инъекций»
Расход, м ³ /ч	Затраты единовременные, долл. США в год		
0,5-0,8 м ³ /ч	5000-6000	5800-7000	5090-6100
Расход, м ³ /ч	Затраты эксплуатационные, долл. США в год		
0,5-0,8 м ³ /ч			
Для ультрафильтрации: затраты на водную промывку мембран/ химическую промывку/электроэнергию Для излучателей: затраты на замену ламп, промывку кислотой, электроэнергию	10200-11300 [33]	10200-11300 (УФ ≈ 6) [19],[20],[21]	10200-11300 (Ультрафиолетовый стерилизатор 25-60)
Потребление электроэнергии, кВт/м ³ .	3-4 [35-39]	0,3 [19],[20],[21]	0,01-0,02

Название метода	2-х ступенчатый осмос (дистилляция)	2-х ступенчатый осмос + ультрафильтрация	2-х ступенчатый осмос + ультрафиолет
Стоимость фильтрата, руб/м ³	40 [34]	43 (установка ультрафильтрации - 3) [19],[20],[21]	-

Выводы

Анализ проведенный в работе показывает, что для воды прошедшей фильтрацию обратным осмосом предпочтительней стерилизовать воду для инъекций методом ультрафиолетового облучения, как наиболее экономичного и компактного.

Библиографический список

1. URL: <https://planetazdorovo.ru/catalog/lekarstva-i-bad/rastvorenie-lekarstvennykh-form/voda-dlya-in-ekcij-16362/>. (Дата обращения 25.10.2023).
2. ФС.2.2.0019.18 Вода для инъекций. (Дата обращения 25.10.2023).
3. Начева М.В., Львов А.В., Сравнительная характеристика физических методов обеззараживания воды. URL: https://xn--h1aogd.xn--plai/wp-content/uploads/2017/10/Materialy_konf_2017.pdf#page=175. (Дата обращения 25.10.2023).
4. Медведев Д.Д., Новые технологии очистки и обеззараживания воды. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15253131>. (Дата обращения 25.10.2023).
5. Поворов А.А., Коротков Б.М., Санков В.Н., Сулима В.Н., Николаева В.А., Петрова И.В., Способ получения сверхчистой воды. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38020094>. (Дата обращения 25.10.2023).
6. Романов М.С., Волков С.В., Нючев С.О., Орехова В.И., Современные технологические процессы водоподготовки. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41492183>. (Дата обращения 25.10.2023).
7. Курыхалов Д.П., Совершенствование существующих технологий водоподготовки с применением метода ультрафильтрации. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44431163>. (Дата обращения 25.10.2023).

8. Волкова С.Н., Шлеенко А.В., Ресурсосберегающая технология высокоэффективной очистки и обеззараживания воды и продуктов питания. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/resursosberegayuschaya-tehnologiya-vysokoeffektivnoy-ochistki-i-obezzarazhivaniya-vody-i-produktov-pitaniya/viewer>. (Дата обращения 25.10.2023).
9. Шевкунов С.Н., Настин А.Н., Установка для подготовки обессоленной воды и производства синтезгаза. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_38410353_90996377.pdf. (Дата обращения 25.10.2023).
10. Коженев Ю.В., Кириленко В.И., Руднев И.М., Опыт внедрения установок ультрафильтрации в системах водоподготовки. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_42955799_19662148.pdf. (Дата обращения 25.10.2023).
11. Бушуев Е.Н., Н.А. Еремина, А.В. Жадан Современные системы водоподготовки для медицины и фармпроизводств. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-sovremennyh-tehnologiy-vodopodgotovki-na-tes> (Дата обращения 25.10.2023).
12. URL:<https://www.runwater.ru/produkty/item/ustanovki-elektrodeionizacii-wts-runtech-edi> (Дата обращения 25.10.2023).
13. URL: <http://www.medfilter.ru/18mom.html>. (Дата обращения 25.10.2023).
14. URL: <https://www.megalit23.ru/oborudovanie/oborudovanie-mwt/obratnyu-osmos-mwt-ro>/<https://tiwater.info>. (Дата обращения 25.10.2023).
15. Копырин М.П., Николаев Н.А., Сверхчистая Вода для производственных целей, (Дата обращения 25.10.2023).
16. Первов А.Г., Современные высокоэффективные технологии очистки питьевой и технической воды с применением мембран: обратный осмос, нанофильтрация, ультрафильтрация : новейшие мембранные технологии подготовки питьевой и технической воды, Монография.

URL:

https://viewer.rusneb.ru/ru/000199_000009_02000011101?page=87&rotate=0&theme=white. (Дата обращения 25.10.2023).

17. Соколов В.Ф., Обеззараживание воды бактерицидными лучами. Издание МКХ РСФСР, 1954 г. (Дата обращения 26.10.2023).
18. URL: <https://www.vo-da.ru/articles/vodopodgotovka-medicine/voda-dlya-inyektsiy>. (Дата обращения 26.10.2023).
19. Первов А.Г., Андрианов А.П., Современное состояние вопроса очистки поверхностных вод ультрафильтрацией, Вестник МГСУ, 4/2010. (Дата обращения 26.10.2023).
20. Первов А.Г., Юрчевский Е.Б., Использование мембранных технологий в системах водоподготовки энергетических объектов, Энергосбережение и водоподготовка № 5(37), 2005 г. (Дата обращения 26.10.2023).
21. Юрчевский Е.Б., Первов А.Г., экономические аспекты применения обратноосмотической и ультрафильтрационных технологий в энергетике, Энергосбережение и водоподготовка № 3(30), 2004 г. (Дата обращения 26.10.2023).
22. URL: <https://noriaqua.ru/oborudovanie/ustanovki-ultrafiltratsii/>. (Дата обращения 26.10.2023).
23. URL: <https://www.uv-tech.ru/>. (Дата обращения 27.10.2023).
24. Технический паспорт на установку УФ обеззараживания торговой марки ТОПОЛ-ЭКО/ТОРОL-ЕСО® серии «УФО»™. (Дата обращения 27.10.2023).
25. URL: <https://vagner-ural.ru/katalog/ultrafioletovye-obezzarazhivatelivody/uf-sterelizator-sde/>. (Дата обращения 27.10.2023).
26. Первов А.Г., Современные высокоэффективные технологии очистки питьевой и технической воды с применением мембран: обратный осмос, нанофильтрация, ультрафильтрация, стр.86.

URL:

https://viewer.rusneb.ru/ru/000199_000009_02000011101?page=87&rotate=0&theme=white. (Дата обращения 2.11.2023).