

ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 628.5

С. П. Высоцкий, д-р техн. наук¹, А. А. Печенога²

1 – ГОУВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», г. Макеевка, 2 – Автомобильно-дорожный институт ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Горловка

КОМБИНИРОВАННЫЙ ПРОЦЕСС МИКРОФИЛЬТРАЦИИ И ОБРАТНОГО ОСМОСА ДЛЯ ОЧИСТКИ ШАХТНЫХ ВОД

Для предотвращения опасного действия на окружающую среду предлагается использовать мембранные технологии для очистки шахтных вод, а также технологию обратного осмоса. Решением вопроса является очистка воды до уровня соответствующего требованиям потребителей. Для исследования была подготовлена загрязненная вода, содержащая высокие концентрации металлов, а также других элементов. Для реминерализации была включена дополнительная обработка реминерализатором Semidol. Полученное качество воды, с точки зрения жесткости и наличия нитратов и тяжелых металлов, улучшилось и метод очистки воды подходит для приготовления как для воды, безопасной для окружающей среды, так и для промышленной воды.

Ключевые слова: шахтная вода, обратный осмос, микрофильтрация воды, окружающая среда, водоочистка

Введение

Загрязнение поверхностных вод шахтными водами является серьезной проблемой во всем мире в настоящее время. Обработка воды с использованием мембранных методов является обычной для многих применений, включая умягчение, обессоливание, снижение соле-содержания и удаление определенных компонентов, таких как железо, мышьяк и другие металлы и взвешенные вещества [1, 2]. Тяжелые металлы представляют собой серьезную проблему для окружающей среды, и это следует учитывать в какой либо технологии, включая очистку шахтных вод [3] во время добычи полезных ископаемых, а также после закрытия шахт [4].

Идеальная мембрана должна соответствовать следующим критериям [5]:

- а) индивидуальные характеристики мембраны, такие как размер пор, диапазон размеров пор, количество пор на см^2 , доля поверхности, покрытой порами, и многие другие должны быть адекватно определены и оставаться стабильными на период эксплуатации;
- б) до и во время фильтрации физико-химические свойства проб (то есть распределение частиц по размерам в воде) должны быть также стабильными;
- в) на химический состав проб не должны влиять органические или неорганические загрязнители, которые выделяются из мембраны.

Микрофильтрация, с точки зрения мембранных процессов, очень похожа на классическую фильтрацию. Разделение происходит в зависимости от размера частиц (от 0,1 до 10 мкм). В этом случае не происходит проскок микрочастиц. Давление, применяемое при микрофильтрации, является относительно низким ($< 0,2$ МПа) по сравнению с другими фильтрационными процессами [6]. Она часто используется в качестве предварительной обработки воды для последующей очистки обратным осмосом или электродиализом [7]. Это надежный барьерный метод для удаления твердых микрочастиц, микроорганизмов и других загрязняющих веществ в воде из разных источников. Использование мембранных технологий обеспечивает качественное и надежное производство очищенной воды, сокращая время простоя и затраты на техническое обслуживание оборудования [7].

Обратный осмос – это метод с использованием высокого давления, обеспечивающий удаление растворенных металлов и солей из загрязненной воды. Благодаря типичному размеру пор и большой способности к разделению, обратный осмос является эффективным способом удаления почти всех распространенных загрязнителей воды, кроме летучих органических соединений [1].

Он работает по тому же принципу, что и микрофильтрация, ультрафильтрация и нанофильтрация. Он отличается используемыми мембранами и рабочим давлением. Частицы размером 0,1–1 Нм удаляют. Мембраны выделяют только растворитель (воду) и некоторые растворимые вещества, в том числе катионы и анионы [8].

Цель исследования: анализ процесса микрофильтрации и систем обратного осмоса для очистки шахтных вод, а также сточных вод промышленных предприятий.

Изложение основного материала

Индивидуальные определения выбранных показателей, которые были проведены с пробой воды, приготовленной в лаборатории, следующие:

- концентрация нитрат-ионов по фотометрическому определению;
- реакция воды (рН), температура и электропроводимость;
- концентрация тяжелых металлов – As, Cu, Fe, Ni, которая определяется с помощью атомно-адсорбционного спектрометра.

Область применения и характеристики различных методов фильтрации показаны на (рисунке 1).

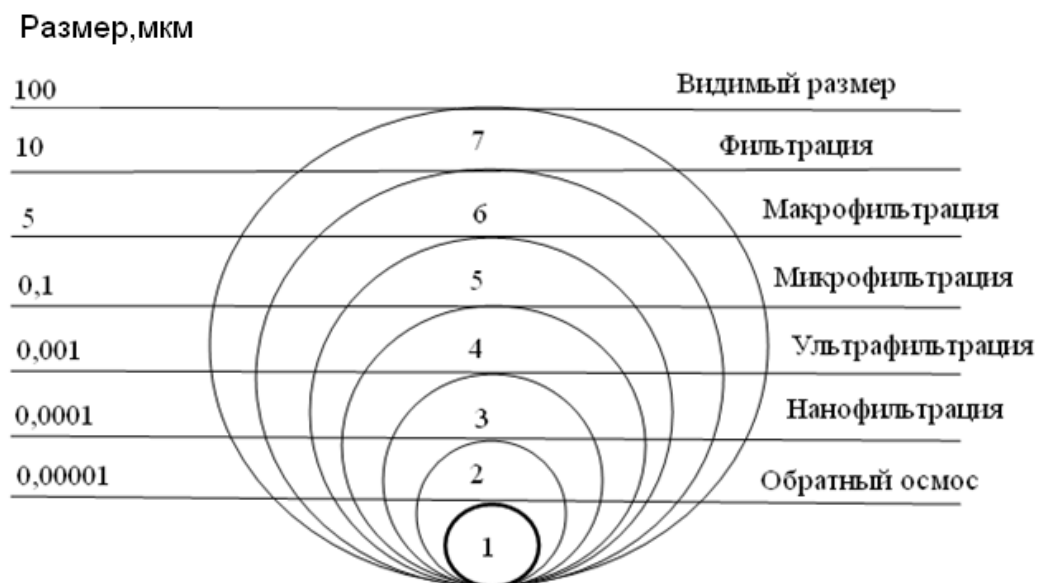
В используемой в данной работе системе микрофильтрации применялась керамическая мембрана. Активный слой мембраны выполнен из α - Al_2O_3 , который размещен на жесткой пористой основе. Мембрана устойчива к механическим воздействиям, скачкам давления, нагреву до 150 °С [6, 7]. Диапазон рН составляет от 0,5 до 13,5, что позволяет очищать мембрану агрессивными химическими веществами. Мембрана имеет трубчатую форму с внутренним диаметром 7 мм. Длина мембраны составляет 25 см, а эффективная площадь мембраны составляет 50 см². Средний размер пор мембраны составляет 0,1–0,5 мкм.

Система обратного осмоса также оснащена керамической мембраной для предочистки воды. Она работает в диапазоне температур от 2 до 40 °С и в диапазоне давлений от 300 до 600 кПа. После деминерализации исходной воды в системе после обратного осмоса следует дополнительная обработка, в которой вода обогащается минералами, такими как кальций, магний и т. д. В этом случае используется минерализатор Semidol.

Semidol – это доломитовый фильтрующий материал для очистки питьевой воды, воды для бассейнов, промышленной воды, а также для раскисления и удаления железа, марганца и силикатов:

- содержание в воде карбоната кальция и оксида магния составляет более 99 %;
- продукт имеет идеальный стехиометрический состав;
- содержание сопутствующих неорганических веществ значительно ниже допустимых требований чистоты.

Поэтому Semidol пригоден в качестве фильтрующего материала (зерна однородные, пористые с шероховатой поверхностью без трещин). Semidol имеет пористость 14,4 % и насыпную плотность (в зависимости от размера зерна) от 1,1 до 1,2 кг/дм³. Доступны частицы следующих размеров: 0 – от 0,5 до 1,2 мм, I – от 0,5 до 2,5 мм, II – от 2,0 до 4,5 мм, III – от 4,0 до 7,0 мм.



1 – молекула воды; 2 – нитраты; 3 – пестициды; 4 – вирусы;
5 – бактерии; 6 – клетка крови; 7 – человеческий волос

Рисунок 1 – Области применения различных методов фильтрации

Изменение концентрации загрязнения после каждого этапа очистки показаны на рисунках 2–4 и таблице 1.

Как показано на рисунке 2, исходный образец воды до обработки содержал 134,27 мг/дм³ ионов кальция и 130,38 мг/дм³ ионов марганца. После обработки их значения снизились до концентрации 32,11 мг/дм³ и 10,9 мг/дм³.

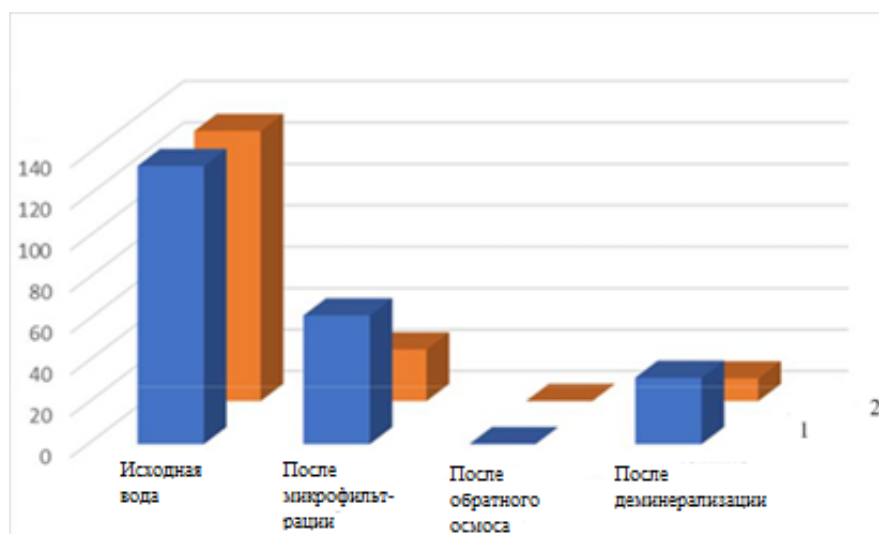


Рисунок 2 – Концентрации катионов после каждой стадии очистки
(1 – ионы Ca²⁺; 2 – ионы Mg²⁺)

Как показано на рисунке 3, исходная проба воды перед обработкой содержала 123,08 мг/дм³ хлоридов, 134,69 мг/дм³ сульфатов и 108,06 мг/дм³ нитрат-ионов. После обработки значение снизилось до концентрации 8,43, 3,45 и 0,84 мг/дм³.

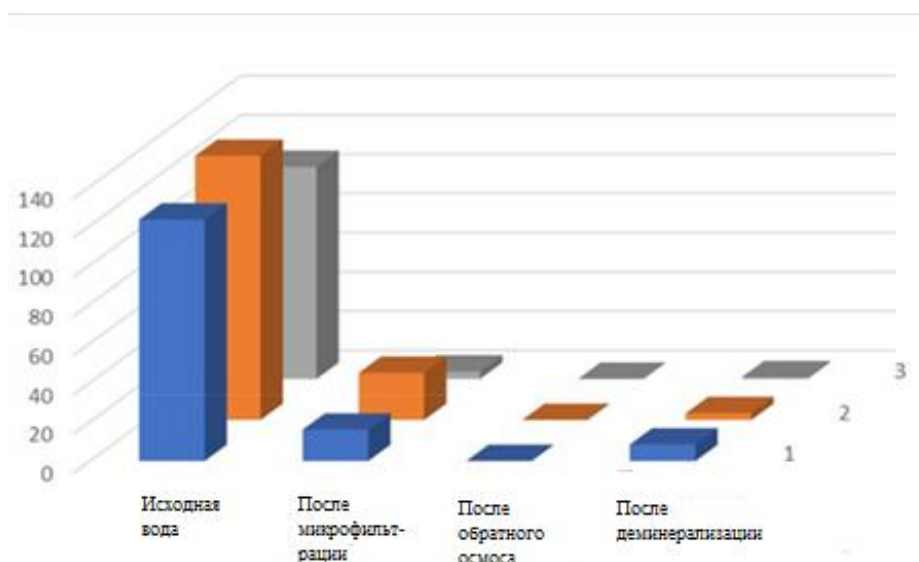


Рисунок 3 – Концентрация анионов после каждой стадии очистки (1 – Cl^- ионы; 2 – ионы SO_4^{2-} ; 3 – NO_3^- ионы)

Как показано на рисунке 4, исходная проба воды перед обработкой содержала около 5 мг/дм^3 ионов мышьяка, меди, железа и никеля каждого. После очистки значение упало до нуля.

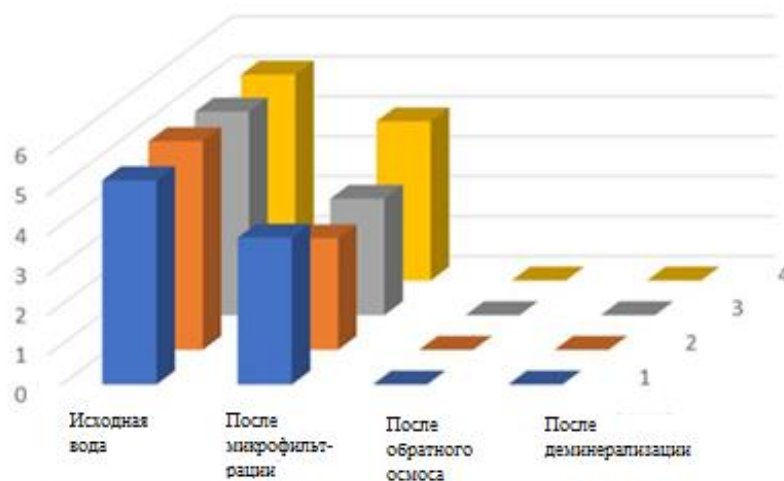


Рисунок 4 – Концентрация ионов тяжелых металлов после каждой стадии очистки (1 – As^{5+} ионы; 2 – Cu^{2+} ионы; 3 – Fe^{3+} ионы; 4 – Ni^{2+} ионы)

Таблица 1 – Физические параметры воды после каждого этапа

| Стадия | pH | Проводимость (mk·см/см) | Температура (°C) |
|------------------------|------|-------------------------|------------------|
| Исходная вода | 7,18 | 693 | 10,5 |
| После микрофилтрации | 6,40 | 756 | 20,5 |
| После обратного осмоса | 7,59 | 0 | 19,7 |
| После реминерализации | 8,72 | 104 | 19,7 |

В таблице 1 показаны изменения pH, температуры и проводимости воды в исходном образце и после каждой стадии обработки. На температуру воды после всех этапов повлияла температура окружающей среды.

Выводы

Целью исследования была оценка эффективности очистки воды мембранными технологиями, чтобы очищенная вода соответствовала критериям качества воды, поступающей различным потребителям.

Также введена альтернативная технология очистки воды, состоящая из обратного осмоса с предварительной микрофильтрационной очисткой и повторной минерализацией после очистки. В результате чего эффективно удаляются загрязняющие вещества, и вода может использоваться в промышленных технологиях, сбрасываться в окружающую среду или, после дальнейшей соответствующей обработки, использоваться для питьевых целей.

Использование очищенной воды в технологиях также имеет не только экологический, но и экономический эффект, так как качество очищенной воды с точки зрения концентрации ионов жесткости, катионов и анионов, а также содержания тяжелых металлов, соответствует стандартам.

Список литературы

1. Ковалева, О. М. Методы очистки промышленных сточных вод / О. М. Ковалева, А. А. Фомин // Экология производства. – 2011. – № 12. – С. 85–87.
2. Dirner, V. Qualitative Analysis of Problems Associated with Waste Deposition in Underground Mine Workings / V. Dirner, A. Kiraly, A. Dobes // Проблеми екології. – Донецьк, 2013. – № 2. – С. 3–9.
3. Синявский, С. А. О проблеме деминерализации шахтных вод / С. А. Синявский // Уголь Украины. – 2010. – № 2. – С. 22–24.
4. Кулаков, А. А. Исследование барьерных возможностей традиционной биологической очистки сточных вод на основе технологического моделирования / А. А. Кулаков, Е. А. Лебедева, М. Ф. Умаров // Экология и промышленность России. – 2010. – № 11. – С. 33–36.
5. Чеботаева, М. В. Обратная система водопользования / М. В. Чеботаева, Д. Н. Исайцев, О. Бранденберг // Экология производства. – 2011. – № 5. – С. 49–50.
6. Высоцкий, С. П. Проблемы выбора технологий обессоливания воды / С. П. Высоцкий, М. В. Коновальчик // Энергосбережение и водоподготовка. – 2016. – № 2(100). – С. 29–35.
7. Высоцкий, С. П. Совершенствование технологий очистки воды / С. П. Высоцкий, А. В. Фаткулина, М. В. Коновальчик // Збірник наукових праць Луганського національного аграрного університету. Серія : Технічні науки. – 2006. – № 67(90). – С. 81–94.
8. Wastewater Recycling to Potable Water Standards / Filtration & Separation. – 2010. – Vol. 47, Issue 5. P. 38–40.

С. П. Высоцкий¹, А. А. Печенога²

1 – ГОУВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,

г. Макеевка, 2 – Автомобильно-дорожный институт

ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Горловка

Комбинированный процесс микрофильтрации и обратного осмоса для очистки шахтных вод

При добыче полезных ископаемых, таких как уголь, шахтным способом возникает необходимость постоянного отведения из шахтных выработок больших объемов шахтных вод, чтобы не допустить затопление подземных горизонтов. Учитывая дефицит водных ресурсов в Донском регионе, шахтные воды можно рассматривать как реальный альтернативный источник водоснабжения.

Профилактика загрязнения наземных и подземных водных источников и непосредственное вовлечение очищенных водных ресурсов в хозяйственный оборот предприятия могут быть достигнуты в результате очистки шахтных вод путем комбинированного процесса микрофильтрации и обратного осмоса.

В ходе исследования нужно было понять насколько эффективен мембранный метод очистки воды. Анализ по изучению концентрации загрязнения проводился в лабораторных условиях, для которых были заранее отобраны и приготовлены пробы шахтных вод. Анализ проводился до начала очистки (исходная вода), а также после каждой стадии обработки. Для очистки применялась технология отобранного мембранного процесса состоящего из двух стадий: 1) микрофильтрация – эта система оснащена керамической мембраной, которая является устойчивой к механическим воздействиям, скачкам давления, нагреву до 150 °С, а также рН диапазон которого составляет от 0,5 до 13,5, что в свою очередь позволяет очищать мембрану агрессивными химическими веществами; 2) обратной осмос – эта система также имеет керамическую мембрану, которая позволяет

производить процесс предочистки воды, температурный режим в этой системе колеблется от 2 до 40 °С, а диапазон давлений – от 300 до 400 кПа.

В процессе очистки после деминерализации исходной воды в системе после обратного осмоса подключается стадия, вода в которой обогащена минералами. Тут уже используется минерализатор Semidol.

Semidol – это доломитовый фильтрующий материал, используемый для очистки воды различных типов загрязнения. Он состоит из чистого доломита, а также имеет идеальный стехиометрический состав. Semidol используется в качестве фильтрующего материала, за счет того, что содержание неорганических веществ значительно ниже допустимых требований чистоты.

Технология комбинированного процесса очистки воды в ходе исследований показала, что имеется не только экологический, но и экономический эффект, что позволяет значительно снизить затраты на водопотребление и водоотведение как на предприятиях промышленного типа, так и для городского водопотребления.

ШАХТНАЯ ВОДА, ОБРАТНЫЙ ОСМОС, МИКРОФИЛЬТРАЦИЯ ВОДЫ, ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА, ВОДООЧИСТКА

S. P. Vysotskiy¹, A. A. Pechenoga²

1 – Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, Makeevka,

2 – Automobile and Road Institute of Donetsk National Technical University, Gorlovka

Combined Microfiltration and Reverse Osmosis Process for Mine Water Treatment

When mining minerals such as coal, there is a need for constant diversion of large volumes of mine water from mine workings, to prevent flooding of the underground horizons. Taking into account the scarcity of water resources in the Donetsk region, mine water can be considered as a real alternative source of water supply.

Pollution prevention of ground and underground water sources and direct involvement of purified water resources in the economic turnover of the enterprise can be achieved as a result of mine water treatment by a combined process of microfiltration and reverse osmosis.

In the course of the study it was necessary to understand how effective the membrane method of water purification is. The analysis to study the concentration of pollution was carried out in laboratory conditions, for which mine water samples were taken and prepared in advance. The analysis was carried out before the start of treatment (source water), as well as after each stage of treatment. For cleaning, the technology of the selected membrane process consisting of two stages was used: 1) microfiltration – this system is equipped with a ceramic membrane that is resistant to mechanical stress, pressure surges, heating to 150 °С, and also the pH range of which is from 0,5 to 13,5, which in turn allows to clean the membrane with aggressive chemicals; 2) reverse osmosis – this system also has a ceramic membrane that allows the process of water primary purification, the temperature regime in this system ranges from 2 to 40 °С, and the pressure range, in turn, from 300 to 400 kPa.

In the process of purification after demineralization of the source water in the system, a reverse stage is connected after reverse osmosis, the water in which is enriched with minerals. Here, the Semidol mineralizer is already used.

Semidol is a dolomite filter material used to purify water of various types of pollution. It consists of pure dolomite and also has an ideal stoichiometric composition. Semidol is used as a filter material due to the fact that the content of inorganic substances is significantly lower than the acceptable purity requirements.

In the course of the study the technology of the combined process of water purification has shown that there is not only an environmental, but also an economic effect. It allows to reduce significantly the cost of water consumption and water diversion both at industrial enterprises and for urban water consumption.

MINE WATER, REVERSE OSMOSIS, WATER MICROFILTRATION, ENVIRONMENT, WATER PURIFICATION

Сведения об авторах:

С. П. Высоцкий

SPIN-код: 7497-0100
Scopus Author ID: 7004891012
ORCID ID: 0000-0002-2988-7245
Телефон: +38 (071) 391-35-97
Эл. почта: sp.vysotsky@gmail.com

А. А. Печенога

Телефон: +38 (071) 365-94-00
Эл. почта: rogoenko.2608@gmail.com

Статья поступила 18.03.2020

© С. П. Высоцкий, А. А. Печенога, 2020

Рецензент: М. В. Коновальчик, канд. техн. наук, АДИ ГОУВПО «ДОННТУ»