ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБРАТНОГО ОСМОСА В ПОДГОТОВКЕ ВОДЫ ДЛЯ НУЖД ТЭС

Юлдашев Данияр Маратович
Ташкентский Государственный Технический Университет им. И. Каримова, соискатель базовой докторантуры (PhD),
E-mail: daniyaryuldashev759@gmail.com
Юсупалиев Рисбек Маматович
Ташкентский Государственный Технический Университет им. И. Каримова, к.х.н, профессор

Аннотация. В статье рассматриваются технологические особенности применения обратноосмотических установок в системах водоподготовки тепловых электростанций. Анализируются преимущества и недостатки технологии, требования к качеству исходной воды, особенности эксплуатации мембранных элементов в условиях ТЭС. Представлены рекомендации по оптимизации работы обратноосмотических систем и продлению срока службы мембран.

Ключевые слова: обратный осмос, пермеат, концентрат, водоподготовка, тепловая электростанция, мембранные технологии, деминерализация воды.

Annotatsiya. Maqolada issiqlik elektr stansiyalarining suv tayyorlash tizimlarida teskari osmos qurilmalarini qo‘llashning texnologik xususiyatlari ko‘rib chiqiladi. Texnologiyaning afzalliklari va kamchiliklari, boshlang‘ich suv sifati bo‘yicha talablar, IES sharoitida membrana elementlarining ekspluatatsiya xususiyatlari tahlil qilinadi. Teskari osmos tizimlarining ishini optimallashtirish va membranalar xizmat muddatini uzaytirish bo‘yicha tavsiyalar keltirilgan.

Kalit so‘zlar: teskari osmos, permeat, kontsentrat, suv tayyorlash, issiqlik elektr stansiyasi, membrana texnologiyalari, suvni demineralizatsiya qilish.

Abstract. The article describes the technological features of using reverse osmosis systems in water treatment processes at thermal power plants. It analyzes the advantages and disadvantages of the technology, the requirements for the quality of the source water, and the specifics of membrane element operation under thermal power plant conditions. Recommendations are provided for optimizing the performance of reverse osmosis systems and extending membrane service life.

Keywords: reverse osmosis, permeate, concentrate, water treatment, thermal power plant, membrane technologies, water demineralization.

Введение

Обеспечение надёжной и эффективной работы тепловых электростанций (ТЭС) напрямую зависит от качества технологической воды, используемой в пароконденсатном цикле. Особенно критичным является качество питательной воды, подаваемой в котлоагрегаты, где даже

ISSN 3030-3907

незначительное содержание растворённых солей, взвесей или органических веществ может привести к образованию накипи, коррозии, нарушению теплопередачи и, как следствие, к снижению эффективности теплообмена и увеличению эксплуатационных затрат.

Традиционно на ТЭС для подготовки воды применялись методы ионного обмена (натрий-катионирование, смешанное катионитно-анионитное обессоливание, двухступенчатое деминерализующее осветление), однако в последние десятилетия наблюдается активное внедрение мембранных технологий, в частности — обратного осмоса. Это обусловлено как ужесточением требований к качеству воды, так и необходимостью повышения экологической и энергетической эффективности процессов водоподготовки.

Обратный осмос обеспечивает удаление до 99% растворённых солей, органических соединений и микрозагрязнителей, что в условиях ТЭС такие показатели являются весьма значимыми и обеспечивают минимизацию отложений в трубопроводах, экономайзерах и барабанах котлов.

На рис.1 продемонстрирована мембрана обратного осмоса и принцип её действия.

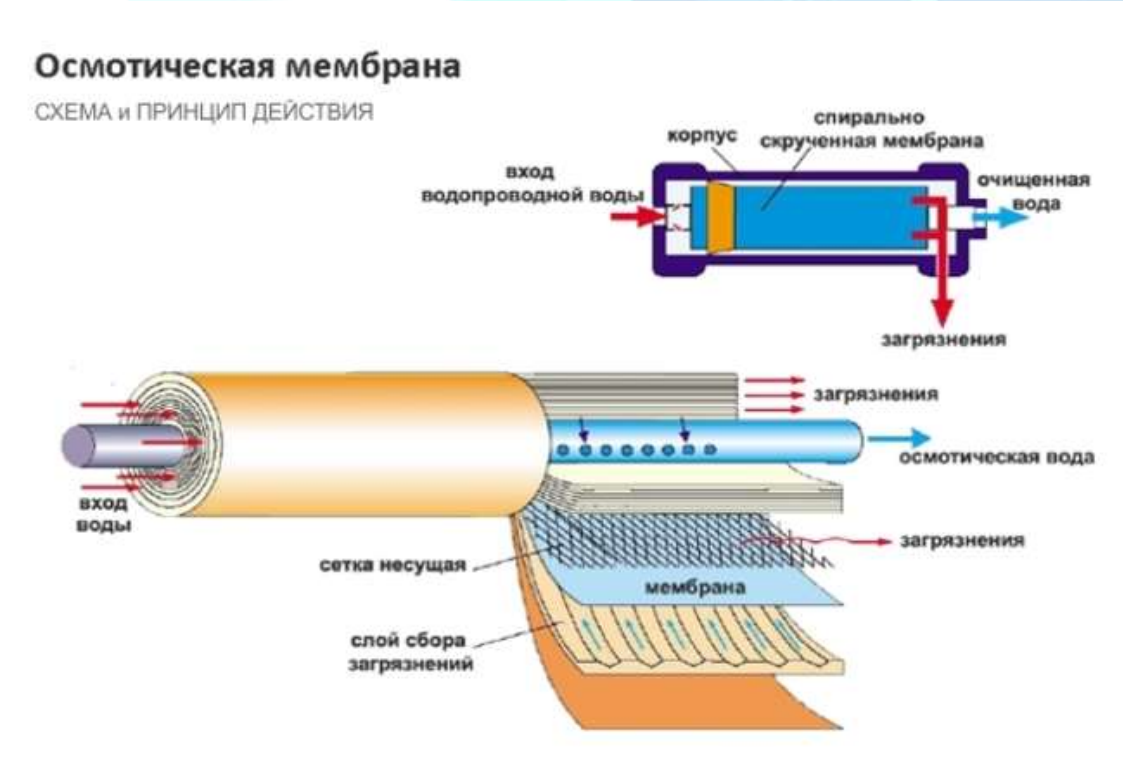


Рис.1.Устройство и принцип действия обратного осмоса [1].

Однако, несмотря на технологические преимущества, эксплуатация обратного осмоса на ТЭС сопряжена с рядом особенностей и ограничений. Мембранные элементы чувствительны к загрязнениям, колебаниям давления,

ISSN 3030-3907

pH и температуры. Кроме того, обратный осмос не является универсальным методом и требует тщательной предварительной подготовки воды, грамотной настройки технологического режима и регулярного технического обслуживания. Недостаточное внимание к этим факторам может привести к быстрому выходу из строя дорогостоящих мембран, снижению производительности установок и нарушению режима водно-химического контроля.

Особенности эксплуатации данных систем в условиях энергетики требуют детального изучения и систематизации накопленного опыта.

Требования к качеству воды на ТЭС

Качество питательной воды для паровых котлов регламентируется национальными и международными стандартами и техническими условиями. Основные показатели приведены в Таблице 1.

Таблица 1.

Нормативные показатели качества питательной воды для котлов высокого давления (значения могут варьироваться в зависимости от типа котла и требования производителя оборудования)

Показатель	Норма для котлов 9–14 МПа	Норма для котлов свыше 14 МПа
Общее солесодержание	≤ 50 мг/л	≤ 30 мг/л
Жёсткость (Ca^{2+} + Mg^{2+})	Практически отсутствует	Практически отсутствует
Кремниевая кислота (SiO_2)	≤ 50 мкг/л	≤ 20–30 мкг/л
Железо (Fe)	≤ 100 мкг/л	≤ 20–50 мкг/л
pH (при 25°C)	8,5–9,5	8,8–9,3
Растворённый кислород (O_2)	≤ 20 мкг/л (после деаэрации)	≤ 10 мкг/л
Электропроводность	≤ 5 мкСм/см	≤ 2 мкСм/см

Несоблюдение требований к качеству питательной воды приводит к серьезным последствиям:

- Образование накипи на поверхностях нагрева котлов, снижающей теплопередачу и вызывающей перегрев металла
- Коррозия оборудования, особенно в условиях высоких температур и давлений
- Отложения в турбинах, снижающие их эффективность
- Увеличение расходов на ремонт и обслуживание оборудования [2].

ISSN 3030-3907

В Таблице 2 продемонстрированы основные нарушения качества воды при её подготовке, а также возможные последствия и влияние на экономический эффект.

Таблица 2.

Технико-экономические последствия нарушения качества воды

Нарушение	Возможное последствие	Экономический эффект
Превышение SiO_2	Отложения в турбине	Затраты на ремонт
Высокая жёсткость	Накипь в котле, снижение КПД	Увеличение расхода топлива
Высокий O_2	Коррозия трубопроводов	Замена участков труб
pH < 8,0 или > 9,8	Активация коррозии	Нарушение ВХР и аварии

В Таблице 3 представлены возможные типы загрязнения мембран обратного осмоса, их последствия и меры.

Таблица 3.

Типы загрязнения, последствия и меры

Тип загрязнения	Последствия	Меры
Взвешенные вещества	Засорение каналов → рост ΔP	Фильтрация до <5 мкм, коагуляция
Железо, марганец	Образование оксидов → необратимое загрязнение	Обезжелезивание, аэрация
Хлор	Разрушение полиамидных мембран	Удаление активного хлора (уголь, дегидросульфит)
Бактерии, биоплёнки	Быстрое снижение проницаемости	Ультрафиолет, биоцидная защита

Исходя из вышесказанного, следует подчеркнуть, что важнейшую роль в длительной бесперебойной эксплуатации установки обратного осмоса играет надлежащая качественная предварительная очистка питательной воды, которая состоит из механической очистки, химической и биологической обработки [3].

Механическая очистка. Первым этапом подготовки воды перед подачей на установку обратного осмоса является удаление взвешенных частиц и коллоидных загрязнений. Применяются следующие методы:

ISSN 3030-3907

- Коагуляция и флокуляция с последующим отстаиванием;
- Песчаная фильтрация;
- Микрофильтрация (размер пор 0,1-10 мкм);
- Ультрафильтрация (размер пор 0,01-0,1 мкм).

Требования к мутности воды, поступающей на обратный осмос, обычно не превышают 0,5-1,0 ЕМФ (единиц мутности по формазину).

Химическая обработка. Для предотвращения осадкообразования и биообрастания мембран применяются:

-антискалант: предотвращение кристаллизации малорастворимых солей на поверхности мембран.

-бисульфит натрия: для связывания свободного хлора, который может повредить полиамидные мембраны.

-кислота: для корректировки pH и предотвращения осаждения карбонатов.

Биологическая обработка. При использовании поверхностных источников водоснабжения необходимо предусматривать меры по предотвращению биообрастания:

- УФ-обеззараживание
- Озонирование
- Хлорирование с последующим удалением остаточного хлора

Эксплуатационные особенности

Основные технологические параметры, контролируемые при эксплуатации:

- Рабочее давление: поддерживается на уровне 1,5-2,5 Мпа;
- Температура воды: оптимальная 15-25°C;
- pH исходной воды: корректируется до значений 6,5-7,5;
- Скорость потока: обеспечивает турбулентность для предотвращения осадкообразования;
- Степень извлечения (конверсия): обычно 70-85%;
- Электропроводность пермеата [4].

В Таблице 4 приведены основные проблемы и способы их предотвращения на установке обратного осмоса в процессе эксплуатации.

Таблица 4.

Основные проблемы эксплуатации и способы их решения

Причины	Предотвращение
Загрязнение мембран	
Осадкообразование	Профилактика: использование антискалантов, контроль pH, оптимизация степени извлечения.

ISSN 3030-3907

	Устранение: Кислотная промывка мембран растворами соляной или лимонной кислоты.
Биообрастание	Профилактика: Биоцидная обработка, контроль качества исходной воды
	Устранение: Щелочная промывка с добавлением биоцидов
Коллоидное загрязнение	Профилактика: Эффективная предочистка, контроль индекса плотности осадка (SDI).
	Устранение: Щелочная промывка
Механические повреждения	
Гидравлические удары при пуске и останове	Плавный пуск и останов, контроль давления, качественная предочистка
Превышение максимального перепада давления	
Попадание механических частиц	
Нарушение температурного режима	
Химическая деградация	
Воздействие окислителей (хлор, озон)	Удаление окислителей, контроль pH и температуры, использование стойких мембранных материалов
Экстремальные значения pH	
Высокие температуры	

Стоит отметить, что во время эксплуатации обратного осмоса требуется его промывка, которая делится на два основных типа: кратковременная (обычно перед запуском, длительностью около 5 минут) и химическая промывка, при которой применяются кислотно-щелочные растворы и методом замачивания происходит очистка мембран от различных типов загрязнений.

Экологические аспекты

Положительным экологическим аспектом при выборе обратного осмоса является уменьшение потребления химических реагентов, таких как кислоты, щелочи и соли, по сравнению с эксплуатацией традиционных ионообменных систем. Это снижает экологическую нагрузку, упрощает утилизацию сточных вод и уменьшает риск воздействия на операционный персонал. Кроме того, системы обратного осмоса способствуют

ISSN 3030-3907

значительному снижению объёма сбросов загрязнённой воды за счёт повышения степени очистки.

В то же время, проблема утилизации данного концентрата (поток с высокой минерализацией) является значимым экологическим вызовом, его безответственный сброс в водоёмы может нарушать солевой баланс, вызывать эвтрофикацию и негативно влиять на экосистемы.

Одним из решений данной проблемы является повторное использование концентрата. В условиях ТЭС концентрат может применяться в системах охлаждения, мокрого золоудаления, пылеподавления или в технологических циклах замкнутого типа. Это позволяет уменьшить общий объём сбросов, снизить потребление свежей воды и частично компенсировать экологический след установки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение обратноосмотических установок в системах водоподготовки тепловых электростанций является перспективным направлением развития энергетики. Технология обеспечивает получение деминерализованной воды высокого качества при относительно низких эксплуатационных расходах и минимальном воздействии на окружающую среду.

Успешная эксплуатация обратноосмотических систем требует комплексного подхода, включающего правильное проектирование системы предочистки, выбор оптимальных режимов работы, регулярное техническое обслуживание и своевременную замену мембранных элементов.

Дальнейшее развитие технологии связано с созданием более эффективных мембранных материалов, внедрением энергосберегающих решений и интеллектуальных систем управления. Это позволит еще больше повысить экономическую эффективность и экологическую безопасность процессов водоподготовки на тепловых электростанциях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. https: ovteh.ru/blog/ochistka-vody/kak-rabotaet-obratnyj-osmos-i-iz-chego-on-sostoit-ustrojstvo-princip-raboty-osobennosti-takoj-ochistki-vody
2. Чиж В.А., Карницкий Н.Б., Денисов С.М., Нерезько А.В. Водоподготовка и водно - химические режимы ТЭС и АЭС: учеб. пособие – Минск: БНТУ 2015 – 40 с.
3. Фрог Б.Н., Первов А.Г. Водоподготовка. Учеб. для вузов. М.: Издательство АСВ, 2015. – 435 с.

ISSN 3030-3907

4. Копылов А.С., Лавыгин В.М., Очков В.Ф. Водоподготовка в энергетике. М.: МЭИ, 2016. – 172 с.

ISSN 3030-3907