

## Поэтапный анализ системы подготовки воды и характеристика влияния на эксплуатационный износ котлотурбинного оборудования

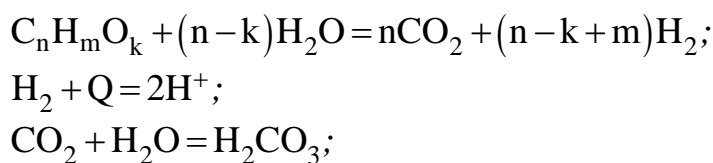
*В.З. Гараев, А.Ю. Власова, Р.Ф. Камалиева*

*Казанский государственный энергетический университет*

**Аннотация:** Эксплуатационный износ и срок службы энергетического оборудования тесно связан с эффективностью работы установки подготовки питательной воды. Недостаточная степень очистки приводит к серьезным нарушениям не только рабочего режима оборудования, но и способствует увеличению скорости коррозионных процессов. В работе рассмотрена установка подготовки воды на основании мембранных технологий с включением мембранной фильтрации и блока обратного осмоса в циркуляционном режиме. В экспериментальный период отбирались пробы воды на каждом этапе очистки и определялись основные показатели, которые влияют на эксплуатационный износ. На основании полученных результатов были сделаны заключения, а также даны рекомендации по работе установки подготовки воды в циркуляционном режиме.

**Ключевые слова:** установка подготовки воды, мембранные процессы, эксплуатационный износ оборудования, показатели качества технологических вод.

На предприятиях топливно-энергетического сектора используются воды различного технологического назначения. Для пароводяного тракта на электрических станциях используется питательная вода, в которой должны отсутствовать как минеральные, так и органические соединения. Требования к качеству воды напрямую зависят от используемого оборудования и эксплуатационных характеристик. Для зарубежного оборудования свойственны более высокие требования к качеству подготовки воды, а отечественные технологии подготовки не всегда могут удовлетворить заявленные требования [1,2]. Особое внимание уделяется количественному содержанию органических соединений, которые являются источником образования дополнительного углекислого газа, углекислоты и органических кислот. Данные соединения существенно ускоряют коррозионные процессы технологического оборудования и увеличивают эксплуатационный износ. Также выделяющийся водород, вызывает водородную хрупкость стали [3,4]:



При содержании в питательной воде остаточных азот-, серо- и хлорорганических соединений возрастает скорость коррозии и эрозии котлотурбинного оборудования [5,6].

Органические соединения негативно влияют не только на коррозионный износ, но и на эффективность очистки. При «традиционной» технологии очистки органические соединения адсорбируются на поверхности ионообменных материалов, в результате чего наблюдается снижение обменной емкости и возрастает необходимость частых регенераций, что не является экономически целесообразным [7]. Постоянные промывки и регенерации приводят не только к увеличению эксплуатационных затрат, но и существенно снижают экологичность установки за счет сброса сточных вод с отработанными регенерационным растворами.

Если же технология очистки базируется на применении мембранных технологий, то органические соединения существенно снижают эффективность очистки за счет забивки пор мембран [8]. Поэтому применение мембранных технологий предусматривает использование предварительной очистки, которая существенно снижает нагрузку на обессоливающий блок (рис. 1).

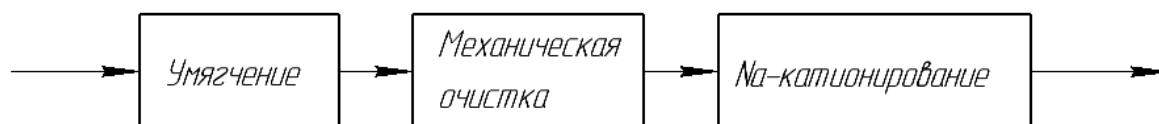


Рис. 1. – Схема предварительной подготовки воды перед мембранной установкой

Применение механической фильтрации в комбинации с На-катионированием позволит увеличить безпромывочную работу обратноосмотического блока и снизить процент засорения поверхности мембран карбонатными отложениями.

Но применение На-катионирования ограничено, так как при высоком показателе общей жесткости, содержание ионов натрия в умягченной воде увеличивается согласно стехиометрическим коэффициентам. Поэтому данный способ не всегда применяют, а используют альтернативный вариант на основе мембранных технологий. Для умягчения воды используют электромембранные технологии, которые опираются на физические методы очистки без использования химических реагентов [9]. Уникальность электромембранных установок заключается в том, что процесс образования карбонатов кальция происходит без дополнительного добавления активатора, а качестве катализатора процесса выступает электрический ток. Такой метод обработки является перспективным и самое важное экологически нейтральным, за счет отсутствия ненормированных стоков и использования химических реагентов. Такая модернизация позволяет увеличить глубину умягчения воды, поскольку появляется возможность поднять рН до 11,0–11,5, не вводя в воду растворимые соединения кальция (рис. 2). Повышение содержания в образующемся шламе гидроксида магния ускоряет процесс коагуляции и последующее осаждение осадка в контактном осветлителе [10,3].

Таким образом, предлагается использовать на электростанциях мембранно-сорбционную очистку воды (рис. 3).

Снижение содержания органических соединений менее 300 ppm позволяет уменьшить коррозионный и эрозионный износ энергетического оборудования. Особенно данные процессы заметны на парогенераторном оборудовании, лопатках турбины в концевой части.

---

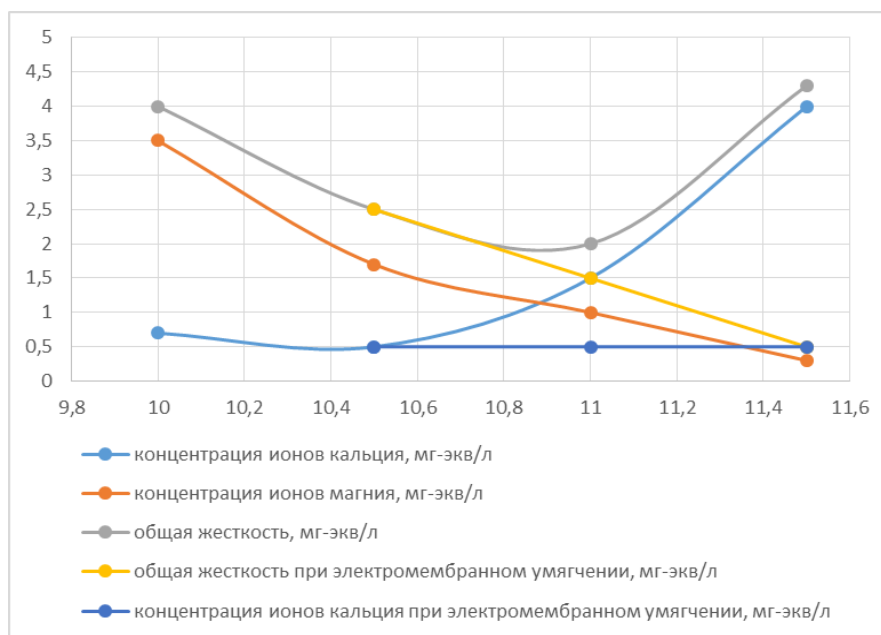


Рис. 2. – Сравнение реагентного и электромембранного умягчения

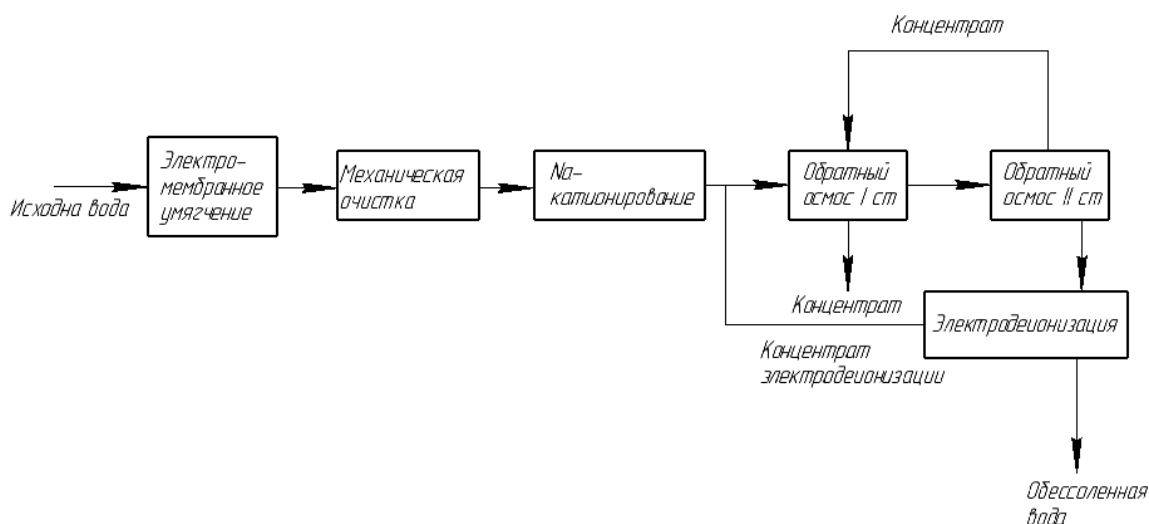


Рис. 3. – Получение питательной воды для котлотурбинного оборудования

Внедрение мембранных технологий в систему подготовки воды позволит увеличить глубину очистки воды, что благоприятно будет влиять на весь процесс теплоэлектростанции. Также немаловажным преимуществом использования мембранных технологий является отсутствие, в качестве сточных вод – агрессивных отработанных регенерационных растворов, что позволяет повысить экологичность предприятий и сделать их малосточными.

Также сократится потребление химических реагентов, таких как серная кислота и гидроксид натрия.

Рассмотрим систему подготовки воды на одной из действующей станций в Республике Татарстан. Принципиальная технологическая схема включает следующие процессы: блок мембранной фильтрации, блок обратного осмоса, а также вспомогательные резервные емкости. (рис. 4)

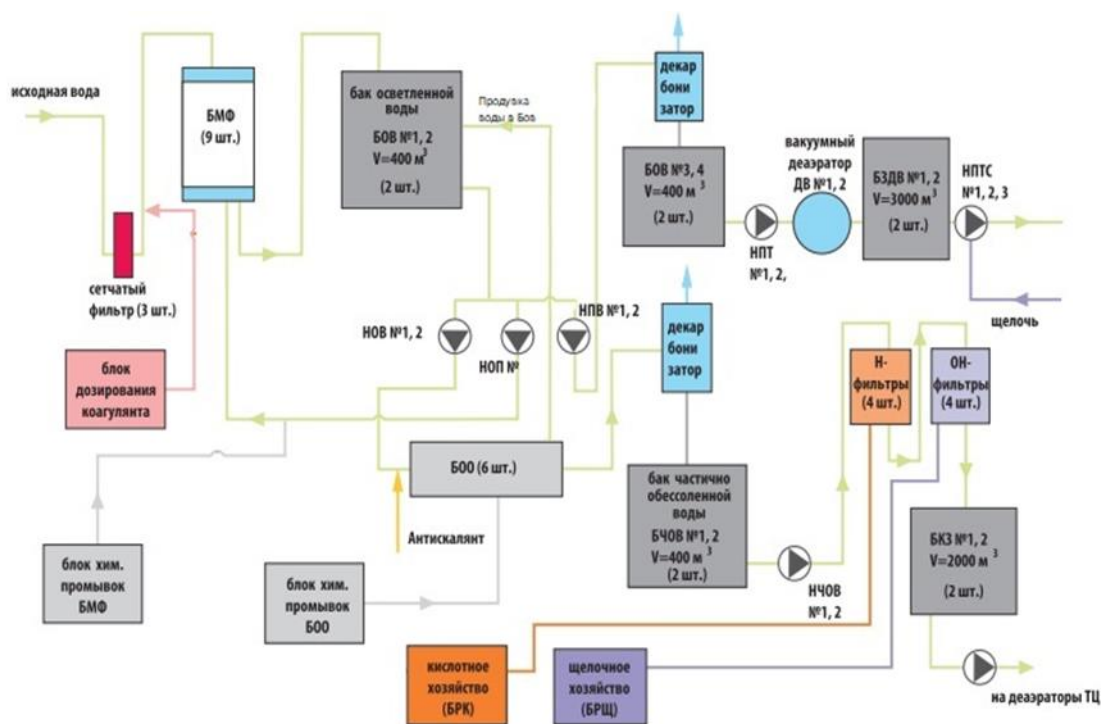


Рис. 4. – Принципиальная схема подготовки воды

Для возможности проведения сравнительного поэтапного анализа необходимо определить ключевые показатели качества воды. С учетом технологических особенностей и значимости отложений, на внутренней поверхности энергетического оборудования были выбраны такие показатели, как общая жесткость, общее железо, перманганатная окисляемость и кремниевые соединения. Данные показатели определялись в лаборатории титриметрическим и турбидиметрическим способом с использованием двухлучевого аналитического УФ-спектрофотометра. В качестве анализируемых вод был определен следующий перечень: исходная вода, вода

после блока мембранной фильтрации, вода на входе блока обратного осмоса (так как система подготовки воды работает в циркуляционном режиме) и пермеат. Результаты эксперимента представлены в таблице № 1, в таблице представлены усредненные показатели за период проведения анализа, который длился с 15.01.24 по 15.03.24.

Таблица № 1

Показатели качества воды на каждой стадии очистки

Наименование воды	Показатели качества			
	Ж об., мг-экв/л	Fe об., мкг/л	ПО, мгО <sub>2</sub> /л	SiO <sub>2</sub> , мкг/л
Исходная вода	3,3	750	8,6	6500
Выход после блока мембранной фильтрации	3,0	250	8,3	5800
Вход на блок обратного осмоса	2,1	190	5,0	5000
Пермеат	0,01	5	0,3	125

По полученным результатам лабораторного анализа вод технологического назначения видно, что процесс мембранной фильтрации недостаточно эффективен, так как после блока основной показатель, характеризующий количество органических соединений (перманганатная окисляемость) снизился всего лишь на 4%. По проекту данный показатель должен снижаться на 20-30%. Причина может заключаться в подборе неэффективной дозы коагулянта. Недостаточная степень очистки от взвешенных частиц приводит к увеличению нагрузки на мембранные процессы, снижает их безпромывочный период, а также эксплуатационные характеристики.

Данная технология предполагает работу в циркуляционном режиме, концентрат после блока обратного осмоса частично возвращается в линию подачи воды перед блоком мембран. Такая система подачи позволяет сократить количество сточных вод и увеличить экологичность установки подготовки воды, т.е. система малосточная. Учитывая, что часть воды возвращается, то начальные показатели воды, поступающей на блок обратного осмоса, напрямую зависят от соотношения подачи концентрата и воды после мембранной фильтрации. Несмотря на технологическое усложнение схемы подготовки воды за счет включения циркуляционного режима, качество пермеата соответствует нормативным требованиям. Поддержание показателей на должном уровне позволяет минимизировать эксплуатационный износ и увеличить срок службы энергетического оборудования. Но работа в циркуляционном режиме предполагает увеличение нагрузки на установку подготовки воды и требует установку дублирующих автоматических датчиков измерения основных показателей качества воды, благодаря которым можно своевременно реагировать на нережимные значения.

### Литература

1. Вайнман А.Б., Котельников Н.И. Исследование коррозионного состояния металлоэлементов пароводяного тракта энергоблоков СКД // Энергетика и электрификация. 1999. №3. С. 24 – 26.
2. Вайнман А.Б., Рыжикова Н.В., Бочко О.А. О повышении эффективности работы водоподготовительных установок ТЭС сверхкритического давления // Энергетика и электрификация. 2007. №2. С. 15–25.
3. Тарелин А.А., Михайленко В.Г., Хиневич А.Е., Лукьянов Е.Ф., Князева О.И., Витковская Т.С., Антонов А.В. Влияние примесей питательной

воды на надежность котлотурбинного оборудования // Современная наука: исследования, идеи, результаты, технологии. 2013. № 2(13). С. 92–98.

4. Маматов Ж.Р., Рахимов Н.Б., Каландаров Н.О. Защита от коррозии, вызванной углекислым газом // Техника. Технологии. Инженерия. 2017. № 4 С. 27–31.

5. Черенков С.И., Сотникова О.А. Снижение интенсивности коррозионной активности теплообменных поверхностей котельных агрегатов теплоэнергетического оборудования // Вестник ВГТУ. 2009. №5. С. 107–112.

6. Вихрев В.Ф., Шкроб М.С. Водоподготовка. Л.: Энергия. 1993. 414 с.

7. Harvest W.F. Mechanics of Ion-Exchange System Operation // Ultrapure Water. 2013. № 4. pp. 20–21.

8. Zularisam A.W., Ismail A.F., Salin R. Behaviors of natural organic matter in membrane filtration for surface water treatment – a review // Desalination. 2006. Vol. 194. pp. 211–231.

9. Mykhaylenko V.G., Antonov O.V., Lukyanova O.I. Possibility of electromembrane softening treatment of network water at a thermal power station // Thermal Engineering. 2018. Vol. 65, pp. 922–926.

10. Горбань Я.Ю., Черкасова Т.Г., Неведров А.В. Методы удаления из воды солей кальция и магния // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2016. № 2(114). pp. 126–135.

### References

1. Vajnman A.B, Kotel'nikov N.I. Jenergetika i jelektrifikacija. 1999. №3. pp. 24–26.

2. Vajnman A.B., Ryzhikova N.V., Bochko O.A. Jenergetika i jelektrifikacija. 2007. №2. pp. 15–25.

3. Tarelin A.A., Mihajlenko V.G., Hinevich A.E., Luk'janov E.F., Knjazeva O.I., Vitkovskaja T.S., Antonov A.V. Sovremennaja nauka: issledovanija, idei, rezul'taty, tehnologii. 2013. № 2(13). pp. 92–98.





4. Mamatov Zh.R., Rahimov N.B., Kalandarov N.O. Tehnika. Tehnologii. Inzhenerija. 2017. № 4. pp. 27–31.
5. Cherenkov C.I., Sotnikova O.A. Vestnik VGTU. 2009. №5. pp. 107–112.
6. Vihrev V.F., Shkrob M.S. Vodopodgotovka. [Water treatment]. L.: Jenergija. 1993. 414 p.
7. Harvest W.F. Ultrapure Water. 2013. № 4. pp. 20–21.
8. Zularisam A.W., Ismail A.F., Salin R. Desalination. 2006. Vol. 194. pp. 211–231.
9. Mykhaylenko V.G., Antonov O.V., Lukyanova O.I. Thermal Engineering. 2018. Vol. 65, pp. 922–926.
10. Gorban' Ja.Ju, Cherkasova T.G., Nevedrov A.V. Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. 2016. № 2(114). pp. 126–135.

**Дата поступления: 22.03.2024**

**Дата публикации: 1.05.2024**