

Анализ современных технологий водоподготовки на ТЭС

Е.Н. Бушуев¹, Н.А. Еремина¹, А.В. Жадан²

¹ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», г. Иваново, Российская Федерация

²ЗАО «НПК Медиана-Фильтр», Москва, Российская Федерация
E-mail: admin@xte.ispu.ru

Авторское резюме

Состояние вопроса: На отечественном энергетическом рынке появилось большое количество нового водоподготовительного оборудования с высокими экологическими характеристиками. Широкому внедрению их в производство мешает отсутствие нормативной базы на их использование и противоречивый опыт эксплуатации головных установок на отечественных ТЭС, особенно для вод с повышенным содержанием органических веществ, что характерно для поверхностных вод центра и севера России. В связи с этим существует необходимость совершенствования традиционных технологий и создания новых систем обессоливания.

Материалы и методы: Используются результаты эксплуатации новых водоподготовительных установок на ряде отечественных и зарубежных ТЭС.

Результаты: Проведен анализ двух основных направлений совершенствования технологии получения обессоленной воды на ТЭС: противоточного ионирования и на основе мембранных методов. Рассмотрено схемное решение по обеспечению работы установки обратного осмоса при пониженных производительностях.

Выводы: Результаты анализа технологий водоподготовки необходимо учитывать как при проектировании, так и при реконструкции химических цехов ТЭС.

Ключевые слова: тепловые электрические станции, водоподготовка, мембранные методы, обратный осмос, электродеионизация.

Analysis of Water Treatment Modern Technology at Heat Power Plants

E. N. Bushuev¹, N. A. Eremina¹, A. V. Zhadan²

¹Ivanovo State Power Engineering University, Ivanovo, Russian Federation

²Closed Corporation "NPK Mediana-Filtr", Moscow, Russian Federation

Abstract

Background: Large quantity of new water treatment equipment with high ecological characteristics appears in Russian power engineering field. However, there is no regulatory system to control its wide implementation into production as well as contradictory experience of head units operation in Russian heat power plants, especially for water with high concentration of organic substances that is typical for surface water in central and northern parts of Russia. Thus, it is necessary to improve the traditional technologies and design new desalination systems.

Materials and methods: The operation results of new water treatment units at Russian and foreign heat power plants are used.

Results: The analysis of two main improvement directions of receiving desalted water technology at heat power plants is carried out. These directions are counterflow ionization and on the basis of membrane methods. The circuitry of units operation of reverse osmosis plants with low productivity is considered.

Conclusions: The analysis results of water treatment technologies are necessary to be taken into account in designing and reconstruction of heat power plant chemical department.

Key words: heat power plants, water treatment, membrane methods, reverse osmosis, electro-deionisation.

Водоподготовительная установка (ВПУ) на ТЭС призвана восполнять потери водного теплоносителя в основном контуре. Существует большое количество возможных вариантов схем водоподготовки для получения обессоленной воды на ТЭС.

Наибольшее распространение в нашей стране получила технология химического обессоливания на базе прямоточных ионитных фильтров. Эта технология применяется уже несколько десятилетий и показала себя вполне надежной для вод малой и средней минерализации ($[\text{SO}_4^{2-}] + [\text{Cl}^-] < 5 \text{ мг-экв/дм}^3$). Для вод с высокой минерализацией ($[\text{SO}_4^{2-}] + [\text{Cl}^-] > 5 \text{ мг-экв/дм}^3$) или при повышенном содержании органиче-

ских соединений ($\text{Ок} > 20 \text{ мгО/дм}^3$) используют термическое обессоливание¹.

В природной воде постоянно отмечается рост загрязненности техногенными органическими соединениями: удобрениями, ядохимикатами, нефтепродуктами и т.д. Традиционные химические технологии водоподготовки удаляют эти загрязнения недостаточно эффективно, что приводит к образованию в конденсатно-питательном тракте потенциально кислых веществ и, как

¹ СО 153-34.20.501-2003 (РД 34.20.501-95). Правила технической эксплуатации электрических станций и тепловых Российской Федерации. Утв. Приказом Министерства энергетики Российской Федерации от 19 июня 2003 г. №229. – М.: СПО ОРГРЭС, 2003.

следствие, к многочисленным фактам нарушения водно-химического режима (ВХР) [1].

Ужесточение экологических требований к сточным водам водоподготовительных установок, с одной стороны, ухудшение качества обрабатываемой воды – с другой, а также удорожание реагентов, ионитов, высокие эксплуатационные затраты привели к необходимости совершенствования традиционных технологий и созданию новых схем обессоливания.

Наиболее перспективными технологиями обработки вод невысокой минерализации с повышенным содержанием органических примесей, что характерно для поверхностных вод центра и севера России, являются: противоточное ионирование и обессоливание на основе мембранных методов.

Новые ВПУ, основанные на противоточных технологиях, внедрены на Калининской АЭС, Дзержинской ТЭЦ, ТЭЦ-ЭВС-2 ОАО «Северсталь» и др. В настоящее время накоплен первый опыт эксплуатации новых установок, частично или полностью укомплектованных импортным оборудованием и фильтрующими материалами, не всегда учитывающих особенности примесей природных вод, иногда упрощенных в целях снижения капитальных затрат.

ВПУ номинальной производительностью 1700 м³/ч, реконструированная по технологии Schwebbett, находится в эксплуатации на ТЭЦ-ЭВС-2 ОАО «Северсталь». Установка предназначена для выработки глубоко умягченной воды ($J_{\text{с}} < 10$ мкг-экв/дм³) и включает две стадии обработки исходной (р. Шексна) воды: осветление на механических однокамерных фильтрах (12 шт. с единичной производительностью 145 м³/ч) с периодическим подключением контактной коагуляции и Na-катионирование на противоточных фильтрах (4 шт. с единичной производительностью 585 м³/ч).

Противоточный Na-катионитный фильтр предполагает фильтрацию осветленной воды снизу-вверх с расходом от 170 до 585 м³/ч. Фильтр представляет собой двухкамерный аппарат (D = 3,8 м) с тремя дренажными устройствами типа «ложное дно» и тысячей колпачковых элементов в каждом устройстве, перекрывающем все поперечное сечение фильтра. Фильтр загружен катионитом С-100 (объем ионита – 30 м³: 10 внизу и 20 сверху) с плавающим слоем инерта.

По результатам лабораторных исследований и промышленных испытаний было установлено, что данный катионит устойчиво работает с рабочей обменной емкостью $E_p = 1200\text{--}1400$ г-экв/м³ при удельном расходе соли на регенерацию 100 г/г-экв. При нагрузке в диапазоне 170–500 м³/ч на один фильтр (скорость фильтрации до 50 м/ч, диаметр 3,8 м) жесткость умягченной воды держится на уровне 2 мкг-экв/дм³. Первые фильтроциклы состави-

ли 25000 м³, через год фильтроцикл снизился до 18000–20000 м³.

Высокое качество химически очищенной воды при большой единичной производительности ионитных фильтров обеспечивается глубокой автоматизацией управления как отдельными фильтрами, так и всей установки в целом. Установка может работать и периодически работает в полностью автоматическом режиме. При этом оперативный персонал контролирует состояние технологического процесса по компьютерным экранам формам визуализации и в любой момент может переключить управление установкой на ручной режим.

Данная установка отработала под контролем сотрудников кафедры ХХТЭ ИГЭУ почти год, большей частью в автоматическом режиме [2]. Выработка умягченной воды за фильтроцикл составила 20000 м³, против 6000–8000 м³ на традиционных прямоточных фильтрах в равных условиях. Удельные расходы соли снижены на 20 %, расход воды на собственные нужды Na-катионитного фильтра составил 1 %, по сравнению с 3–5 % по традиционной технологии.

Опыт эксплуатации противоточных технологий доказывает их преимущества по сравнению с традиционными: снижение количества необходимого водоподготовительного оборудования; высокие обменные емкости ионитов; высокое качество фильтрата, которое обеспечивается при небольших расходах реагентов на регенерацию – 1,8–2,2 г-экв/г-экв; уменьшение количества высокоминерализованных сточных вод.

Однако из-за отсутствия второй (барьерной) ступени и трудности определения момента вывода на регенерацию отключение противоточного фильтра часто проводится по количеству пропущенной воды со значительным запасом, что ведет к недовыработке обессоленной воды. При противоточной регенерации увеличивается интенсивность регенерации и, как следствие, количество переключений, что требует высокой культуры обслуживания таких установок, надежной арматуры, средств автоматизации и контроля, требующих, в свою очередь, применения осветленной воды, глубоко очищенной от взвешенных, органических веществ, а также соединений железа. Эффективность применения противотока тем выше, чем качественнее поступающая на фильтры вода.

В последнее время большое внимание уделяется малореагентным методам, и прежде всего мембранным технологиям.

Некоторые новые ВПУ основаны на применении обратного осмоса для деминерализации воды с использованием в качестве предочистки традиционных технологий (осветлителей, механических фильтров). Примерами таковых являются ВПУ на ТЭЦ-12 ОАО «Мосэнерго», ТЭЦ ОАО «Северсталь», Уфимской ТЭЦ-1, ОАО «Ивановские ПГУ» (ИвПГУ) (рис. 1). Использование обратного осмоса дает возможность извле-

кату на одной ступени очистки до 96–98 % солей, что близко к эффективности одной ступени ионного обмена.

Система доочистки пермеата может состоять из ступени ионного обмена с отдельным Н- и ОН-ионированием (прямоточным или противоточным) и (или) с фильтром смешанного действия (ФСД). Поскольку на такую установку поступает частично обессоленная вода, ресурс фильтров значителен и достигает десятков и сотен тысяч кубических метров.

Сравнение экономической эффективности обессоливания воды ионным обменом и обратным осмосом показало, что при солесодержании более 150–300 мг/л обратный осмос экономичнее даже противоточного ионирования [3].

Имеющийся опыт эксплуатации установок обратного осмоса (УОО) свидетельствует о том, что основным фактором, от которого зависит работа мембран, является соблюдение норм качества воды, подаваемой на обработку. Производителями мембран к питательной воде, идущей на УОО, предъявляются требования, представленные в табл. 1 [3].

Таблица 1. Требования к воде, поступающей на УОО

Показатель	Значение
Температура, °С	до 45
Концентрация свободного хлора, мг/л	до 0,1
Показатель рН во время работы	2–11
Показатель рН во время промывки	1–12
Концентрация железа, мг/л	до 0,1
Содержание органических веществ по общему органическому углероду (ТОС), мг/л	до 3
Концентрация марганца, мг/л	до 0,1
Мутность, НТН	до 0,1
Концентрация масел и нефтепродуктов, мг/л	до 0,1
Коллоидный индекс SDI	до 5

Анализ этих требований показывает, что ограничения на содержание солей, содержащихся в поверхностных водоисточниках, отсутствуют. Ограничивается лишь содержание тех веществ, которые могут привести к отравлению или забиванию мембран. Традиционные для водоподготовки показатели качества осветления воды (концентрация взвешенных веществ, мутность по «кресту», прозрачность, цветность, окисляемость) не дают адекватного представления о взаимосвязи между производительностью мембран и загрязнением их поверхности и пор осадками взвешенных и кол-

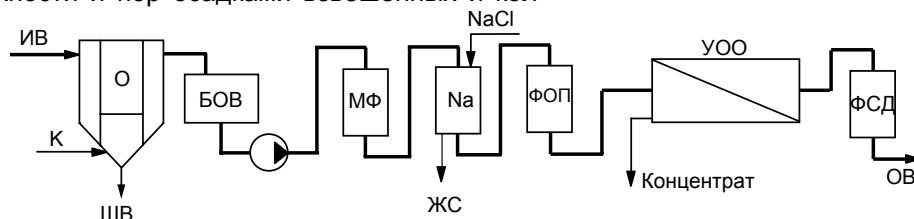


Рис. 1. Схема ВПУ ОАО «Ивановские ПГУ»: ИВ – исходная вода; О – осветлитель; БОВ – бак осветленной воды; МФ – механический фильтр; Na – Na-катионитный фильтр; ФОП – фильтр-органопоглотитель; К – коагулянт; ШВ – шламовые воды; ОБ – обессоленная вода; ЖС – жесткий сток; УОО – установка обратного осмоса; ФСД – фильтр смешанного действия

лоидных частиц. Фирмы-производители обратноосмотических элементов оценивают качество обрабатываемой воды, прежде всего, показателем SDI [3]. Предельно допустимое значение SDI – 5, при значениях SDI от 3 до 5 производители относят такие воды к проблемным, а устойчивая работа обратноосмотического элемента гарантируется при SDI < 3.

Однако опыт показывает, что в схемах с традиционной технологией предочистки качество воды, поступающей на УОО, часто не отвечает требованиям по содержанию железа и окисляемости. Необходимое качество такой воды может быть достигнуто применением ультрафильтрации на стадии предочистки (рис. 2).

Ультрафильтрация позволяет не только получать воду, практически свободную от механических примесей, но и совместно с коагуляцией удалять значительное количество органики (до 60 % от исходного количества), а также кремниевую кислоту. В качестве примера можно привести результаты работы установки ультрафильтрации (УУФ) на Череповецкой ГРЭС (источник водоснабжения – р. Суда) (табл. 2).

Внедрение УУФ на стадии предочистки значительно увеличило производительность обратноосмотических мембран, в несколько раз сократило частоту химических промывок, высвободило производственные площади, уменьшило расход коагулянта, обеспечило возможность отказа от извести.

Таблица 2. Результаты работы установки УУФ

Показатели	Исходная вода	Фильтрат
Общая жесткость, мг-экв/л	0,7	0,7
Общая щелочность, мг-экв/л	0,6	0,012
Окисляемость, мгО ₂ /л	36,8	9,2
Концентрация хлоридов, мг/л	3,3	16
Содержание железа (общее), мг/л	1,93	0,085
Содержание алюминия, мг/л	–	0,016
Цветность	>80	25

Совместное использование ультрафильтрации и обратного осмоса дает возможность создать малореагентную систему водоподготовки для получения фильтрата с удельной электропроводностью на уровне 1–5 мкСм/см. В таких схемах дальнейшее доведение качества воды до нормативных значений обычно производится ионообменным методом (рис. 2).

Надежность комбинированной мембранно-ионообменной установки (рис. 2) высокая, поскольку даже при возможных нарушениях работы системы обратного осмоса узел доочистки обеспечит заданное качество воды. Вместе с тем сохраняется необходимость в использовании кислоты и щелочи, поэтому данная технология, хоть и в меньшей степени, имеет те же недостатки, что и традиционная. Такая технология применяется на Новочеркасской ГРЭС, Занской ГРЭС, Орловской ТЭЦ и др.

Основным недостатком всех мембранных систем является достаточно низкий коэффициент использования исходной воды. Если в традиционной ионообменной схеме с коагуляцией и механической фильтрацией собственные нужды составляют 10–20 %, то для типичного сочетания ультрафильтрации и обратного осмоса этот показатель равен 40–50 %. Однако следует учитывать, что концентраты от установок ультрафильтрации и обратного осмоса по содержанию часто находятся в пределах нормируемых значений и могут быть беспрепятственно сброшены.

Комбинированные мембранно-ионообменные схемы, имеющие высокую степень экономической эффективности и надежности, являются оптимальным и рекомендуемым методом при реконструкции существующих ВПУ, где уже имеются ионообменные фильтры, реагентное хозяйство и системы сбора и нейтрализации стоков. Количество концентрированных сточных вод и расход реагентов в этом случае в десятки раз меньше, чем при чисто ионообменной схеме. Полученные сточные воды могут быть разбавлены до допустимых норм концентратом мембранных установок.

С точки зрения обеспечения минимального расхода реагентов и наивысшей экологичности при высоком качестве обессоленной воды наибольшую эффективность имеют ком-

плексные ВПУ, состоящие исключительно из мембранных модулей различного назначения: ультра- и нанофильтрации, обратного осмоса, мембранной дегазации и электродеионизации, называемых в целом интегрированные мембранные технологии (ИМТ) [3, 4].

В комплексной мембранной установке (рис. 3) вода доочищается на узле электродеионизации. Электродеионизация (ЭДИ, EDI) – это процесс непрерывного обессоливания воды с использованием ионообменных смол, ионоселективных мембран и постоянного электрического поля.

При степени использования исходной воды 90–95 % очищенная вода имеет удельную электропроводность на уровне 0,1 мкСм/см (табл. 3), а также минимальное кремниесодержание и общий органический углерод. При этом солесодержание концентрата обычно ниже, чем солесодержание воды, подаваемой на установку обратного осмоса, поэтому он весь возвращается на вход этой установки на повторное использование.

Все производители установок электродеионизации предъявляют очень высокие требования к воде, подаваемой на установку ЭДИ, вне зависимости от ее конструкции (табл. 4).

Для повышения надежности работы комплексных мембранных систем водоподготовки на базе ИМТ требуется использование на стадии предварительного обессоливания двухступенчатого обратного осмоса. В этом случае качество воды, питающей установку электродеионизации, заведомо выше требований производителей и любые нарушения в работе установок обратного осмоса становятся не критичными. При ухудшении эффективности работы первой ступени (естественно, в допустимых пределах) заданное качество гарантированно обеспечит вторая ступень.

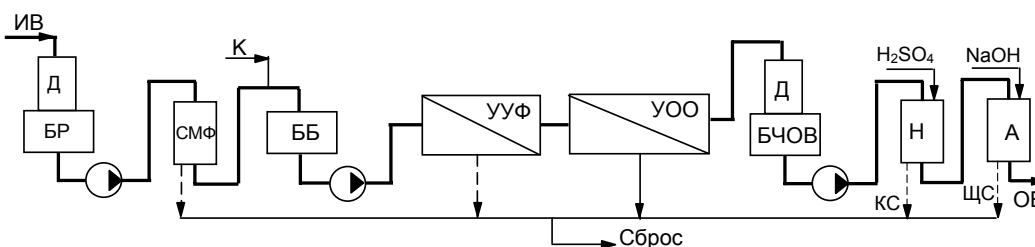


Рис. 2. Схема комбинированной установки для подготовки глубоко обессоленной воды с применением ионообменной доочистки: Д – декарбонизатор; БР – емкость разрыва струи; СМФ – самопромывные механические фильтры; ББ – буферные емкости; УУФ – установка ультрафильтрации; УОО – установка обратного осмоса; БЧОВ – бак частично обессоленной воды; Н – Н-катионитный фильтр; А – ОН-анионитный фильтр; КС – кислотный сток; ЩС – щелочной сток

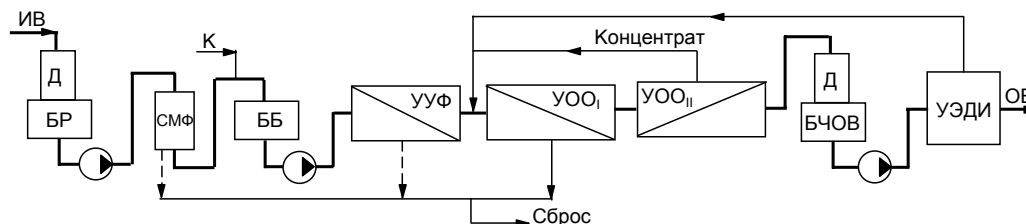


Рис. 3. Схема комплексной установки для подготовки глубоко обессоленной воды с применением доочистки электродеионизацией: УЭДИ – узел доочистки электродеионизацией; остальные обозначения см. рис. 2

Таблица 3. Характеристики работы установок электродеионизации

Показатель	ЭДИ1	ЭДИ2	ЭДИ3
Удельная электропроводность обрабатываемой воды, мкСм/см	2,5	2,5	2,5
Удельная электропроводность фильтрата, мкСм/см	0,11	0,15	0,09
Производительность по фильтрату, м ³ /ч	10	10	10
Расход концентрата, м ³ /ч	1,05	1,0	1,05
Перепад давления на входе и выходе, ата	1,9	1,3	0,7
Перепад давления фильтрата и концентрата, ата	0,4	0,3	0,3
Напряжение, В	614	614	614
Сила тока, А	3	3	3

Таблица 4. Типичные требования производителей к питающей воде установок ЭДИ

Характеристика исходной воды	Значения
рН	5–9
Удельная электропроводимость, мкСм/см	<20
Общая жесткость, мг/л CaCO ₃	<1,0
Общий органический углерод, мг/л	<0,5
Содержание свободного хлора, мг/л	<0,05
Содержание соединений Fe, мг/л	<0,01
Кремнекислотное содержание (SiO ₂), мг/л	<1,0
Концентрация углекислого газа (CO ₂), мг/л	<5,0
Мутность, NTU	<1,0
Рабочая температура, °С	5–45
Входное давление, атм	0,7–5,0

Комплексная мембранная установка для подготовки глубоко обессоленной воды, выполненная в соответствии с данной схемой (рис. 3), обеспечивает минимальный объем отходов. Отпадает необходимость в кислотно-щелочном хозяйстве, снижаются эксплуатационные расходы и резко улучшаются экологические параметры.

Такие установки наиболее целесообразны для вновь строящихся объектов. Особенно это актуально для труднодоступных районов, куда затруднен подвоз реагентов. Комплексная мембранная установка успешно эксплуатируется на Первомайской ТЭЦ-14 [3].

Общим элементов во всех рассмотренных схемах обессоливания на основе мембранных методов является установка обратного осмоса. При эксплуатации водоподготовительной установки производительность постоянно меняется. Часто возникает значительное снижение производительности, связанное с остановом части теплоэнергетического оборудования или

прекращением отдачи производственного пара потребителю, что ведет к проблеме обеспечения минимального расхода обрабатываемой воды через УОО.

При неполной загрузке основного оборудования блоков ПГУ-325 на ИВПГУ снижается потребность в обессоленной воде. Это обуславливает неполную загрузку УОО. Изначально на ИВПГУ были спроектированы и эксплуатировались две параллельно работающих УОО (рис. 4,а). Во время простоя одной из УОО она либо ставится на консервацию, либо ежедневно производится циркуляция воды по корпусам УОО для предотвращения возникновения отложений. Это приводит к дополнительным потерям и увеличению себестоимости обессоленной воды.

Поскольку реагенты, используемые для консервации УОО, имеют достаточно высокую стоимость и периодически требуется подключение второй установки обратного осмоса, то при работе одного из блоков консервация является неэффективным мероприятием.

Для предотвращения потерь, в целях экономии химических реагентов для регенерации ФСД были предусмотрены мероприятия, позволяющие снизить дополнительные потери при простое оборудования, – последовательное включение УОО1 и УОО2 в работу (рис. 4,б). Каждая установка включает 4 корпуса, также работающие по двухступенчатой схеме (рис. 4).

При последовательном включении установок обратного осмоса (рис. 4,б) пермеат с УОО2, работающей как I ступень, подается на УОО1 (II ступень). При этом концентрат с УОО2 сбрасывается в канализацию, а с УОО1 смешивается с исходной водой, подаваемой на I ступень.

Исходная вода подается на установку обратного осмоса на корпуса АО1–АО3 (рис. 5), затем пермеат подается на ФСД, а концентрат – на АО4, где также разделяется на пермеат и концентрат. Пермеат подается на ФСД, а концентрат сбрасывается в канализацию.

После предварительных расчетов в феврале 2012 года были проведены промышленные испытания работы УОО1 и УОО2, включенных последовательно. Результаты расчетов и испытаний приведены в табл. 5 и на рис. 6.

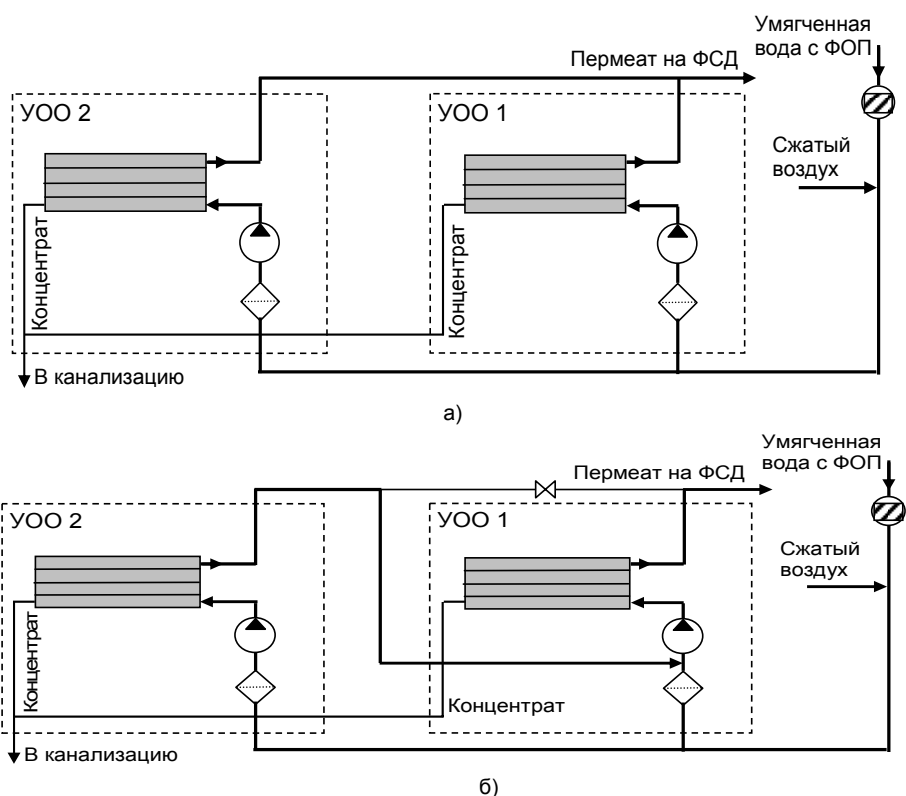


Рис. 4. Технологические схемы включения УОО: а – параллельное; б – последовательное



Рис. 5. Технологическая схема обработки воды на УОО №1,2: АО1–АО4 – корпуса установки

Таблица 5. Расчетные показатели работы ВПУ при включении УОО в одну и две ступени

Показатель	Известкование + коагуляция сульфатом железа		Коагуляция сульфатом алюминия
	при включении УОО в одну ступень	при включении УОО в две ступени	при включении УОО в две ступени
Производительность установки, м ³ /ч	18	18	18
Суммарный часовой расход воды, поступающей на УОО, м ³ /ч	22,06	21,96	21,96
Производительность осветлителя ВТИ-100, м ³ /ч	30,2	28,65	30,03
Фильтроцикл ФСД, м ³	21240	63720	63720
Расход кислоты на регенерацию, т/год	0,54	0,16	0,16
Расход щелочи на регенерацию, т/год	0,54	0,16	0,16

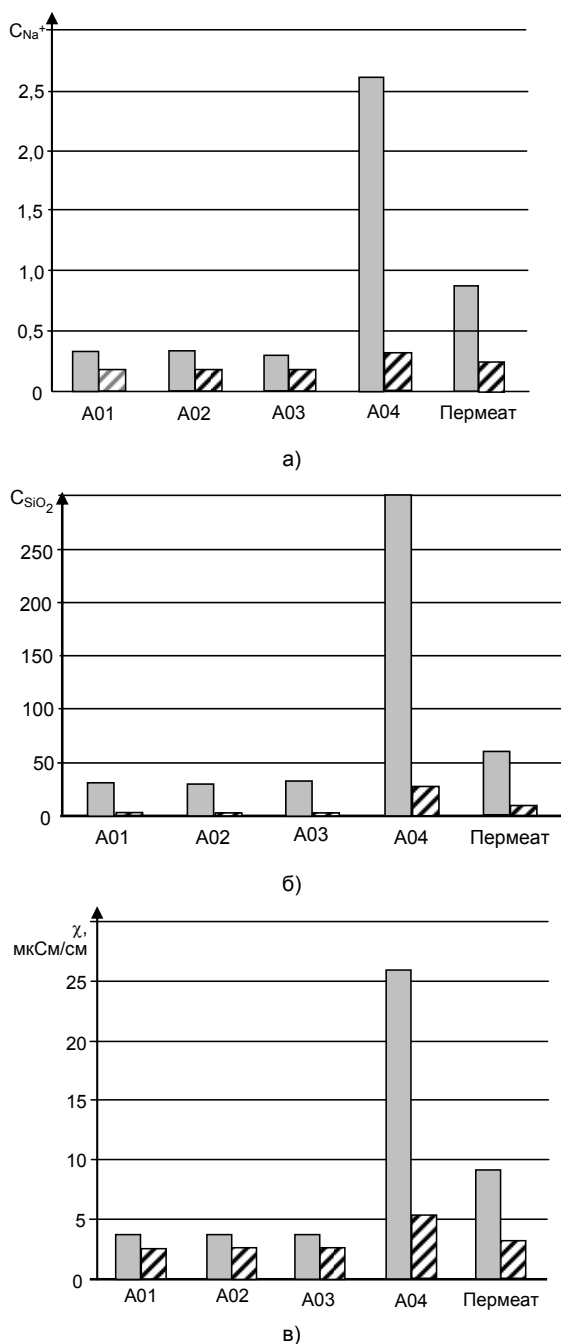


Рис. 6. Диаграммы содержания ионов натрия (а), кремнекислоты (б) и удельная электропроводность (в) в обработанной на УОО воде:

■ – ступень №1; ▨ – ступень №2

Полученные данные доказывают повышение качества обессоленной воды после второй ступени обработки на УОО. Содержание ионов натрия, кремнекислоты и электропроводность снижаются более чем в 3 раза, также снижается содержание соединений железа и хлоридов.

Проследивая динамику изменения качества обессоленной воды, можно отметить, что двухступенчатое обессоливание на УОО не позволяет достаточно снизить значение электропроводности, однако позволяет получить тре-

буемые параметры качества воды по содержанию соединений кремнекислоты и натрия для добавочной воды для подпитки котлов-утилизаторов. Повышение качества исходной воды для ФСД позволяет снизить ионную нагрузку на них более чем в 3 раза, что приводит к значительному увеличению фильтроцикла, уменьшению количества воды, используемой на собственные нужды ВПУ, снижению потребности в кислоте и щелочи для регенерации. Следовательно, снижается экологический ущерб, наносимый окружающей среде.

Испытания с коагулянтотом – сульфатом алюминия при двухступенчатой схеме работы установок обратного осмоса показали, что существует возможность улучшить качество воды, идущей на УОО, и повысить ресурс работы патронных фильтрующих элементов для УОО.

Таким образом, на отечественном энергетическом рынке появилось большое количество нового водоподготовительного оборудования с высокими экологическими характеристиками. Широкому внедрению его в производство мешает отсутствие нормативной базы на использование и противоречивый опыт эксплуатации головных установок на отечественных ТЭС, особенно для вод с повышенным содержанием органических веществ.

Список литературы

1. Ходырев Б.Н., Кривчевцов А.Л., Соколюк А.А. Исследование процессов окисления органических веществ в теплоносителе ТЭС и АЭС // Теплоэнергетика. – 2010. – № 7. – С. 11–16.
2. Опыт освоения новых технологий обработки воды на ТЭС / Б.М. Ларин, А.Н. Коротков, М.Ю. Опарин и др. // Теплоэнергетика. – 2010. – № 8. С. 8–13.
3. Проектные решения водоподготовительных установок на основе мембранных технологий / А.А. Пантелеев, Б.Е. Рябчиков, А.В. Жадан и др. // Теплоэнергетика. – 2012. – №7. – С. 30–36.
4. Пуск системы водоподготовки ПГУ-410 на Краснодарской ТЭЦ / А.А. Пантелеев, А.В. Жадан, С.Л. Громов и др. // Теплоэнергетика. – 2012. – №7. – С. 37–39.

References

1. Khodyrev, B.N., Krivchevtsov, A.L., Sokolyuk, A.A. Issledovanie protsessov okisleniya organicheskikh veshchestv v teploносителе TES i AES [Research of Oxidation Processes of Organic Substances in Heat-Transfer Agent at Heat Power Plants and Nuclear Power Plant]. *Teploenergetika*, 2010, no. 7, pp. 11–16.
2. Larin, B.M., Korotkov, A.N., Oparin, M.Yu. Opyt osvoeniya novykh tekhnologiy obrabotki vody na TES [Implementation Experience of New Water Treatment Technologies at Heat Power Plants]. *Teploenergetika*, 2010, no. 8, pp. 8–13.
3. Panteleev, A.A., Ryabchikov, B.E., Zhadan, A.V. Proektnye resheniya vodopodgotovitel'nykh ustanovok na osnove membrannykh tekhnologiy [Design Decisions of Water Treatment Units Based On Membrane Methods]. *Teploenergetika*, 2012, no. 7, pp. 30–36.
4. Panteleev, A.A., Zhadan, A.V., Gromov, S.L. Pusk sistemy vodopodgotovki PGU-410 na Krasnodarskoy TETS [System Launch of PGU – 410 Water Treatment at Krasnodar Heat Power Plant]. *Teploenergetika*, 2012, no. 7, pp. 37–39.

Бушуев Евгений Николаевич,
ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
доктор технических наук, заведующий кафедрой автоматизации технологических процессов,
телефон (4932) 38-57-83,
e-mail: admin@xxte.ispu.ru

Еремина Наталья Александровна,
ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
кандидат технических наук, доцент кафедры химии и химических технологий в энергетике,
телефон (4932) 38-57-83,
e-mail: admin@xxte.ispu.ru

Жадан Александр Владимирович,
ЗАО «Научно-производственная компания Медиана-фильтр»,
генеральный директор, соискатель,
e-mail: jadan@mediana-filter.ru