

Информационное агентство
Энергопресс

10'2012

Новое в российской электроэнергетике



НОВОЕ В РОССИЙСКОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

Ежемесячный электронный журнал

№ 10 октябрь 2012 г.

Объединенный редакционный совет издательств ООО «Стрижев-Центр»
и ООО «Информационное агентство «Энерго-пресс»

Председатель – Серебрянников Сергей Владимирович, ректор Национального исследовательского университета «МЭИ»

Заместитель председателя – Михайлов Сергей Алексеевич, заместитель генерального директора ОПК «Оборонпром»

Заместитель председателя – Паули Виктор Карлович, председатель Совета директоров ЗАО «Наставник-ТехЭнерго», председатель Правления НП «Союз инженеров-электриков», заведующий кафедрой инженерного менеджмента НИУ «МЭИ»

Члены Совета

Воронов Виктор Николаевич, профессор НИУ «МЭИ», главный редактор журнала «Новое в российской электроэнергетике»

Загретдинов Ильяс Шамилевич, заместитель генерального директора ОАО «Группа Е-4», главный редактор газеты «Энерго-пресс»

Громогласов Александр Аркадьевич, главный редактор издательств «Стрижев-Центр» и «Энерго-пресс»

Зубакин Василий Александрович, заместитель начальника Главного управления энергетики ОАО «Лукойл»

Громогласов Сергей Александрович, заместитель директора агентства «Энерго-пресс» – ответственный секретарь

Росляков Павел Васильевич, проректор НИУ «МЭИ»

Пильщиков Аркадий Павлович, доцент НИУ «МЭИ»

Соляков Владимир Константинович, генеральный директор ООО «Стрижев-Центр»

Редколлегия

Главный редактор –
Воронов В.Н., д.т.н., профессор
Первый заместитель главного редактора –
Зорин В.М., д.т.н., профессор
Заместитель главного редактора –
Громогласов А.А., д.т.н., профессор
Ответственный секретарь –
Галтеева Е.Ф., к.т.н.

Члены редколлегии:

Акимов Е.Г., к.т.н., доцент
Аракелян Э.К., д.т.н., профессор
Богловский А.В., к.т.н., ст.н.с.
Васин В.П., д.т.н., профессор
Верещагин И.П., д.т.н., профессор
Гашенко В.А., д.т.н.
Жуков Ю.И., к.т.н.
Загретдинов И.Ш., зам. ген. директора
ОАО «Группа Е-4»
Лавыгин В.М., к.т.н., профессор
Мисриханов М.Ш., д.т.н., профессор
Петрова Т.И., д.т.н., профессор
Пильщиков А.П., к.т.н., доцент
Росляков П.В., д.т.н., профессор
Рыженков В.А., д.т.н., профессор
Седлов А.С., д.т.н., профессор
Соляков В.К., к.т.н., доцент
Томаров Г.В., д.т.н., профессор

Содержание

Стр.

О подписке на электронный журнал «НОВОЕ В РОССИЙСКОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ»

3

Общие вопросы электроэнергетики

Принципы структурирования области знаний в аспекте построения единого информационного пространства. Инженер А.Н. Петров (ООО «Цеховая информатика»)

5

Результаты работ по расширению диапазона регулирования высоконапорной радиально-осевой турбины. Д.т.н. В.А. Калаев, к.т.н. В.М. Козлов, инженер А.Н. Прокопенко (ОАО «НПО ЦКТИ»)

17

В помощь производству

Комплексное применение мембранных технологий очистки воды в энергетике на примере Адлерской ТЭС. Д.т.н. В.Ф. Очков (НИУ «МЭИ»), инженер С.С. Гавриленко (ОАО «Мосэнергопроект»)

26

Способ решения проблемы излишнего действия дифференциальной защиты при повреждении в измерительных цепях тока. Инженер М.Г. Пирогов, инженер С.В. Михалев (ООО «НТЦ «Механотроника»)

35

Энергоэффективные силовые трансформаторы: тенденции развития конструкции и характеристик энергосбережения. К.т.н. Ю.М. Савинцев (ООО «ЭТК «Русский трансформатор»)

40

Журнал перерегистрирован Министерством Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций, Свидетельство о регистрации: ИА № ФС77-41829 от 14.09.2010.

Согласно постановлению Правительства РФ от 20 апреля 2006 г. № 227 «К опубликованным работам, отражающим основные научные результаты диссертации, приравниваются публикации в электронных научных изданиях, зарегистрированных в Федеральном государственном унитарном предприятии «Научно-технический центр «Информрегистр». Журнал зарегистрирован в НТЦ «Информрегистр» на 2012 год, регистрационное свидетельство № 598 от 20.10.2011.

В помощь производству**КОМПЛЕКСНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ МЕМБАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
ОЧИСТКИ ВОДЫ В ЭНЕРГЕТИКЕ НА ПРИМЕРЕ АДЛЕРСКОЙ ТЭС**

**Д.т.н. В.Ф. Очков (НИУ «МЭИ»), инженер С.С. Гавриленко
(ОАО «Мосэнергопроект»)**

В последние годы в России при проектировании новых электростанций предпочтение отдается энергоблокам, основанным на парогазовой технологии. Требования к качеству добавочной воды для подпитки контура парогазовых установок (ПГУ) предъявляются особенно высокие. Одним из наиболее эффективных способов обеспечения необходимых показателей качества обессоленной воды является применение аппаратов, построенных по технологии мембранного разделения. При этом наибольшую эффективность имеют установки, составленные из мембранных модулей различного назначения (так называемые интегри ИМТ): ультрафильтрация, обратный осмос, электродеионизация [1]. Достоинства мембранных технологий связаны с малой энергоемкостью процесса разделения, незначительным расходом реагентов, простотой эксплуатации, компактностью оборудования. Рост привлекательности мембранных технологий (особенно в последние годы) обусловлен повышением цен на реагенты, иониты, исходную воду и связан также с ужесточением норм по качеству засоленных стоков [2]. С учетом вышеперечисленных факторов при проектировании водоподготовительных установок Адлерской ТЭС был сделан выбор в пользу комплексного применения мембранных технологий для получения всех типов технологических вод: обессоленной (для подпитки пароводяного контура ПГУ) и химочищенной¹ (для подпитки теплосети), частично обессоленной (для установки увлажнения охлаждающего воздуха сухих вентиляторных градирен).

Адлерская ТЭС (АТЭС) является одним из объектов, строящихся для проведения Зимней Олимпиады 2014 года. Она расположена в Адлерском районе города Сочи в Имеретинской низменности.

ТЭС состоит из двух ПГУ общей электрической мощностью 360 МВт и максимальной тепловой нагрузкой 227 Гкал/ч (264 МВт). КПД электростанции в конденсационном режиме составит 52 %.

Каждый из энергоблоков включает в себя две газовые турбины мощностью до 65,8 МВт производства итальянской компании Ansaldo Energia и одну паровую турбину мощностью до 62,8 МВт производства ОАО «Калужский турбинный завод», а также два двухконтурных барабанных котла-утилизатора с давлением 7,7 МПа и 0,55 МПа производства ОАО «Подольский машиностроительный завод».

¹ В проектировании термин «химочищенная вода» традиционно применяется к подпиточной воде теплосети, чтобы отделить этот тип воды от других (хотя, строго говоря, она является частично обессоленной).

При создании ВПУ генпроектировщик АТЭС – проектный институт «Мосэнергопроект» совместно с ЗАО «НПК Медиана-Фильтр» разработал схемы и выбрал оборудование. К работе установок были предъявлены следующие требования:

1. Высокое качество глубоко обессоленной воды. Поставщики котла-утилизатора и паровой турбины предъявили требования к качеству добавочной воды, соответствующие нормам по добавочной воде для прямоточных котлов.

2. Стабильность показателей качества обессоленной воды независимо от сезонных изменений исходной воды.

3. Повышенные требования в области охраны окружающей среды из-за расположения Адлерской ТЭС вблизи курортной зоны города Сочи.

4. Требования Международного Олимпийского Комитета и ГК «Олимпстрой» к установкам и агрегатам по экологии.

5. Необходимость сброса сточных вод с минерализацией, не превышающей ПДК для водоемов, поскольку отсутствует возможность усреднения минерализации сбросных вод с высокой минерализацией.

6. Малая производительность ВПУ подпитки котлов (15 т/ч) и теплосети (50 т/ч) с необходимостью изменения производительности в довольно широких пределах: от 50 % производительности ВПУ подпитки котлов при отключенной подпитке теплосети до 100 % подпитки ПГУ и теплосети.

7. Получение обессоленной воды для увлажнения охлаждающего воздуха сухих вентиляторных градирен. Выбор сухих вентиляторных градирен связан с тем, что Адлерская ТЭС расположена в регионе, где отсутствуют крупные источники водоснабжения.

8. Размещение всех основных и вспомогательных установок в здании малой площади, т.к. площадка строительства ограничена.

9. Высокая степень автоматизации (общее требование для всех современных установок).

Мосэнергопроект разработал документацию, ЗАО «НПК Медиана-фильтр» изготовило и поставило оборудование для основных схем водоподготовки, провело монтажные и наладочные работы.

На рис. 1 изображена принципиальная схема водоподготовительной установки (ВПУ) получения обессоленной воды для подпитки котлов и химочищенной воды для подпитки теплосети. Следует отметить, что ВПУ Адлерской ТЭС является одной из первых в России, где в таком составе были применены интегрированные мембранные технологии, а именно: для технологической устойчивости схемы было принято решение спроектировать 2-ступенчатую установку обратного осмоса с промежуточной декарбонизацией. До этого на ТЭС в подобных схемах на основе интегрированных мембранных технологий применялся одноступенчатый обратный осмос (ОО) – Ноябрьская ТЭЦ, Путиловская ТЭЦ [1].

Предварительно нагретая в подогревателях до температуры 20 °С исходная вода с содержанием $\sim 180 \text{ мг/дм}^3$ (источник водоснабжения река Мзымта) проходит очистку на установке дисковой фильтрации, состоящей из шести дисковых фильтров типа Arkal (Израиль),

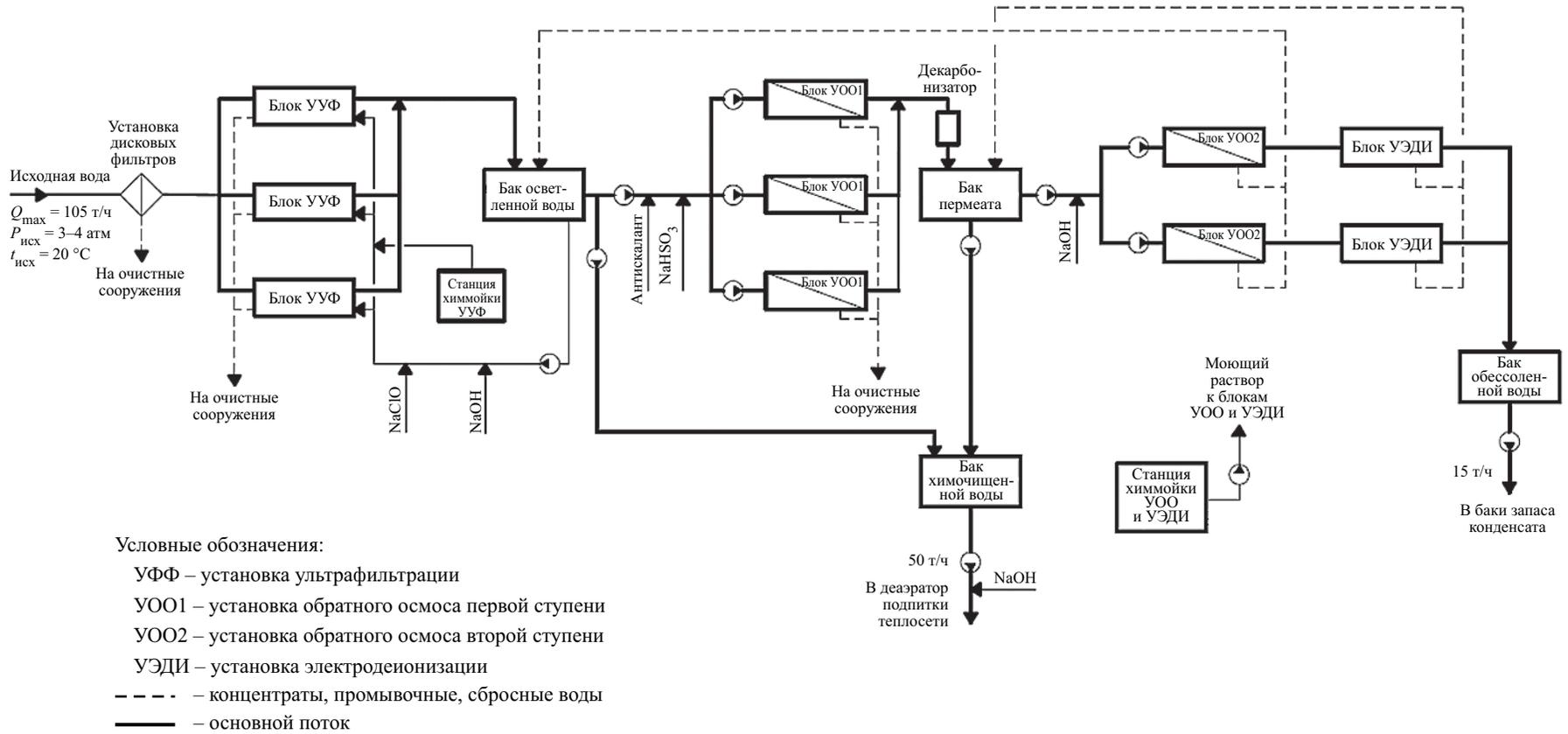


Рис. 1. Принципиальная схема ВПУ для получения обессоленной воды (для подпитки котлов) и химочищенной воды (для подпитки теплосети)

где задерживаются взвешенные вещества размером крупнее 200 мкм. После дисковых фильтров вода подается на установку ультрафильтрации (УУФ), где происходит удаление из воды микроорганизмов, коллоидных и взвешенных веществ размером до 0,01 мкм, после чего фильтрат собирается в баках осветленной воды. Установка ультрафильтрации состоит из трех модулей напорного типа, в каждом из 12 мембранных элементов. Каждый модуль укомплектован насосом рециркуляции для обеспечения устойчивости работы установки в широком диапазоне содержания взвешенных веществ в исходной воде. Производительность УУФ выбрана с учетом подачи части осветленной воды на подпитку теплосети. Периодически для удаления загрязнений, накопившихся внутри капилляров мембран УУФ, производится обратная промывка осветленной водой, длительностью 40–60 с и частотой каждые 20–60 мин. Для удаления биопленок периодически проводится обратная промывка с использованием реагентов – растворов NaOH и NaClO. Также для удаления неорганических отложений периодически (~3 раза в месяц) предусматривается проведение химической мойки мембран растворами едкого натра и лимонной кислоты. Химическая мойка осуществляется путем циркуляции моющего раствора в мембранном блоке в течение нескольких часов.

Как показал опыт внедрения технологии ультрафильтрации в энергетике, использование ультрафильтрации в качестве предочистки перед обратным осмосом в сравнении с традиционной технологией (осветлитель + механический фильтр) позволяет получить фильтрат со значением коллоидного индекса SDI от 0,9 до 3 (при использовании традиционной технологии SDI > 5). При этом качество фильтрата практически не зависит от качества исходной воды. Низкое значение SDI позволяет существенно увеличить удельный съем пермеата с мембран обратноосмотической установки, а также снизить количество химических моек УОО [3].

После установки ультрафильтрации осветленная вода поступает на установку обратного осмоса первой ступени (УОО1), где происходит удаление растворенных солей. Для борьбы с образованием минеральных отложений на мембранах перед УОО1 предусматривается дозирование раствора антискаланта, а для предотвращения попадания на мембранные элементы свободного хлора – дозирование раствора бисульфита натрия.

Пермеат, полученный на УОО1, проходит декарбонизацию в вакуумно-эжекционных декарбонизаторах. Декарбонизатор представляет собой водовоздушный эжектор, состоящий из вакуумно-распылительной головки и ряда ступеней, выполненных из соосно расположенных труб. Содержание CO₂ в декарбонизированной воде составляет 1–2 мг/дм³. Декарбонизированный пермеат собирается в баки пермеата. Концентрат УОО1 с солесодержанием 800–900 мг/дм³ сбрасывается в канализацию. Производительность УОО1 выбрана с учетом подачи части пермеата на подпитку теплосети.

Установка обратного осмоса состоит из фильтра тонкой очистки с рейтингом фильтрации 5 мкм, насоса высокого давления и мембранного блока. Каждый мембранный блок состоит из трех корпусов, в каждом из которых содержится по 6 мембранных элементов.

Из баков пермеата очищаемая вода подается на установку обратного осмоса второй ступени (УОО2) и последовательно на установку электродеионизации (УЭДИ), где происходит глубо-

кое обессоливание воды. УОО2 и УЭДИ соединены в две параллельно работающие цепочки. Для проведения химической декарбонизации на мембранном блоке УОО2 предусматривается дозирование щелочи в поток воды, поступающей на УОО2. Химическая декарбонизация подразумевает коррекцию рН в щелочную область на входе в обратноосмотические мембраны. При подаче на вход УОО2 воды со значением рН > 8,4 вся углекислота находится в бикарбонатной форме и будет удалена на УОО2. Это предотвратит попадание CO₂ в пермеат. Основным назначением УОО2 является обеспечение гарантированного качества воды, поступающей на УЭДИ. Электродеионизация является самым современным методом финишной очистки воды и представляет собой процесс деминерализации воды с непрерывным восстановлением ионообменной способности смол, использующий постоянное электрическое поле в комбинации с ионоселективными мембранами.

Концентрат УОО2 возвращается в баки осветленной воды, а концентрат УЭДИ – в баки пермеата. Полученная на УЭДИ глубоко обессоленная вода поступает в баки обессоленной воды, из которого насосами подается в баки запаса конденсата.

Следует остановиться на схеме получения химочищенной воды для подпитки закрытой теплосети, интегрированной в схему обессоливания. Данная схема применяется впервые. Химочищенная вода получается посредством смешения потоков осветленной воды и пермеата УОО1 в баках химочищенной воды. Расход осветленной воды и пермеата автоматически регулируется в зависимости от заданного карбонатного индекса. Автоматический контроль карбонатного индекса предусматривается как автоматическое измерение жесткости, возведенной в квадрат, с дальнейшим регулированием соотношения потоков. Смешение потоков воды с различными показателями по жесткости позволяет получить требуемое качество воды для подпитки теплосети.

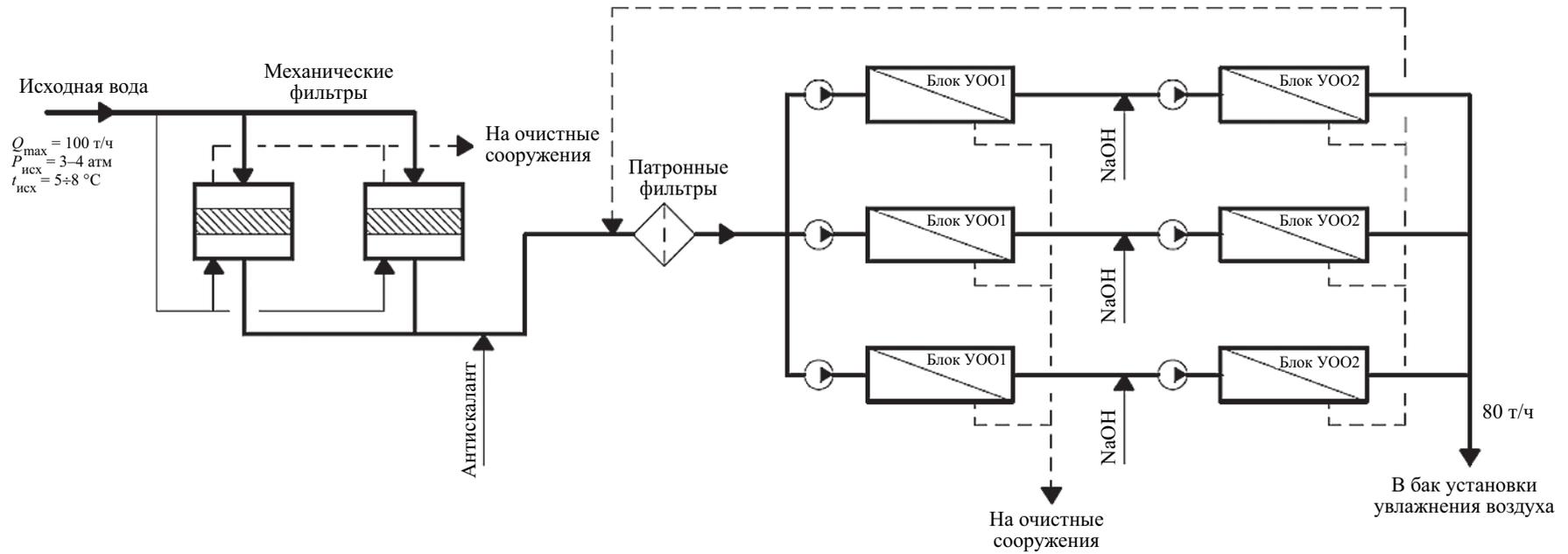
В таблице представлены показатели качества обессоленной воды для подпитки пароводяного тракта ПГУ. Фактически показатели являются усредненными данными по итогам 5 месяцев эксплуатации. Собственные нужды ВПУ для подпитки котлов и теплосети составляют 4 %.

Таблица

Показатели качества обессоленной воды для подпитки котлов-утилизаторов ПГУ

Показатель качества	Нормируемое значение показателя	Фактическое значение показателя
Удельная электропроводность	0,2 мкСм/см	0,07–0,1 мкСм/см
Содержание натрия	10 мкг/дм ³	3 мкг/дм ³

На рис. 2 изображена принципиальная схема получения частично обессоленной воды для установки увлажнения охлаждающего воздуха в сухих вентиляторных градирнях. Установка работает в жаркие месяцы. Частично обессоленная вода распыляется в градирне для снижения температуры охлаждающего воздуха, что, в свою очередь, позволяет поддерживать заданную температуру охлаждающей воды и, как результат, стабильный вакуум в конденсаторе. Постав-



Условные обозначения:

УОО1 – установка обратного осмоса первой ступени

УОО2 – установка обратного осмоса второй ступени

----- – концентраты, промывочные, сбросные воды

————— – основной поток

Рис. 2. Принципиальная схема ВПУ для получения частично обессоленной воды для установки увлажнения охлаждающего воздуха в сухих вентиляторных градирнях

щик градирен – компания GEA (Германия) – затребовал электропроводность воды для увлажнения воздуха, равную 5 мкСм/см. В ходе проектирования была выработана следующая схема обессоливания: для достижения требуемого качества частично обессоленной воды была предусмотрена двухступенчатая установка обратного осмоса, а в качестве предочистки применены механические фильтры с двухслойной загрузкой. Такое решение позволило удешевить предочистку, но увеличило эксплуатационные расходы на химические мойки мембран УОО. В данном случае это приемлемо, поскольку установка работает не круглогодично. Производительность установки по частично обессоленной воде равна 80 м³/ч.

Исходная вода без подогрева с температурой ~5–8 °С и давлением 0,3–0,4 МПа поступает на фильтры механической очистки, загруженные кварцевым песком и активированным углем. В схеме устанавливаются два параллельно работающих фильтра типа ФОВ-3,4-0,6. Периодически, при увеличении перепада давления, производится поочередная промывка. Взрыхляющая промывка фильтров производится исходной водой, при этом последующая установка обратного осмоса переходит в режим ожидания.

Осветленная вода подается в фильтры тонкой очистки (устанавливаются 2 патронных фильтра), в которых происходит удаление нерастворимых частиц размером более 5 мкм. Фильтры осуществляют барьерную функцию перед УОО. В коллектор после фильтров тонкой очистки производится дозирование ингибитора для предотвращения образования минеральных отложений на мембранах, после чего вода подается на двухступенчатую установку обратного осмоса. В проекте предусмотрены три обратноосмотических установки общей производительностью 80 м³/ч.

Каждая из ступеней обратного осмоса состоит из насоса высокого давления и мембранного блока. Мембранный блок установки обратного осмоса состоит из 6 корпусов, в каждом из корпусов УОО1 находятся 6 мембранных элементов. Каждый корпус мембранного блока УОО2 содержит 4 мембранных элемента. Концентрат УОО1 сбрасывается в канализацию, а концентрат УОО2 подается в коллектор перед УОО1. Для проведения химической декарбонизации на мембранном блоке УОО2 предусматривается дозирование раствора NaOH в поток воды между ступенями обратного осмоса.

Пермеат со второй ступени обратного осмоса поступает в баки, из которых происходит подача воды на специальные форсунки, которые распыляют воду в сухих вентиляторных градирнях. Собственные нужды ВПУ подготовки воды для увлажнения охлаждающего воздуха составляют 20 %.

Периодически, по мере загрязнения, производится химическая мойка мембранных элементов всех описанных УОО. Для этого предусмотрена одна станция химической мойки, состоящая из двух баков и насосов. В качестве моющих растворов используются реагенты на основе специальных комплексообразователей. Станция химической мойки также рассчитана на проведение химической очистки УЭДИ с помощью растворов HCl, NaOH, NaCl. Химическая мойка осуществляется путем циркуляции моющего раствора в мембранном блоке с последующей подачей в узел нейтрализации.

Площадь, занимаемая основным оборудованием ВПУ подпитки котлов и теплосети, равна ~300 м². Площадь установки подготовки воды для увлажнения охлаждающего воздуха гради-рен ~150 м² (расположена на двух отметках). Общая площадь здания объединенного вспомогательного корпуса, в котором размещены водоподготовительные установки, равна примерно 3000 м². Таким образом, установки с баками собственных нужд занимают примерно 20 % общей площади здания. Компактность проектируемых установок позволила разместить в таком небольшом производственном здании и другие установки и службы: автономную обессоливающую установку, установку очистки замасленного конденсата, установку нейтрализации, просторное помещение щита управления, общестанционные склады, механическую мастерскую, санитарно-бытовые помещения, центральную химическую лабораторию. Одно из достоинств ВПУ, использующих мембранные технологии, – минимизация складов реагентов. Склады реагентов для всех установок заняли площадь 12×12 м.

По итогам конкурса экологических инноваций, проведенного в рамках Программы строительства олимпийских объектов в 2011 году, компания ОАО «ТЭК Мосэнерго», филиалом которой является «Мосэнергопроект», стала лучшей в области внедрения инновационных технологий за использование экологически эффективной мембранной технологии подготовки технической воды.

На основании выполненного проекта можно сделать следующие выводы:

1. Комплексное применение мембранных технологий при проектировании ВПУ для подпитки котлов-утилизаторов ПГУ позволяет обеспечить стабильно высокое качество глубоко обессоленной воды, необходимое для безаварийной эксплуатации энергоблока.

2. Применение мембранных технологий позволяет минимизировать количество химреагентов при выработке обессоленной и химочищенной воды и исключить образование кислых и щелочных стоков.

3. Концентрат обратного осмоса соленосодержанием менее 1000 мг/дм³ можно сбрасывать в окружающую среду. Несмотря на относительно высокие собственные нужды мембранных установок (40–50 %), у них отсутствует необходимость снижения соленосодержания стоков до допустимых значений, в отличие от ионообменной технологии, где 5–10 % собственных нужд представляют собой высококонцентрированные соленые сбросы, требующие утилизации.

4. Применение мембранных технологий при новом строительстве позволяет сократить капитальные затраты на возведение здания ХВО за счет уменьшения его габаритов.

5. В результате проектирования создана комплексная система автоматизации всех установок, обеспечивающая надежную работу ВПУ при минимальном вмешательстве эксплуатационного персонала.

Литература

1. Пантелеев А.А., Рябчиков Б.Е., Хоружий О.В., Громов С.Л., Сидоров А.Р. Технологии мембранного разделения в промышленной водоподготовке. М.: ДеЛи плюс, 2012.

2. **Очков В.Ф., Чудова Ю.В.** Анализ качества питательной воды и корректировка производительности для обратноосмотических и нанофильтрационных установок // Водочистка, Водоподготовка, Водоснабжение. 2010. № 2.

3. **Громов С.Л., Ковалев М.П., Лысенко С.Е.,** Пантелеев А.А., Самодуров А.Н., Сидоров А.Р. Использование современных интегрированных мембранных технологий для улучшения качества питательной воды на предприятиях энергетики // Водочистка, Водоподготовка, Водоснабжение. 2008. № 2.