

ВОДОПОДГОТОВКА И ВОДООЧИСТКА В ЭНЕРГЕТИКЕ

Часть 1

Приведен обзор работ, посвященных проблемам водоподготовки и водоочистки на тепловых электростанциях и промышленных предприятиях.

Введение

Проблемы водоподготовки и водоочистки являются особо важными и актуальными в связи с постоянным ростом водопотребления и повышением требований к качеству воды.

В настоящее время объём использованной воды на нужды различных отраслей промышленности распределяется следующим образом: ЖКХ – 31,4 %, энергетика (включая теплоэнергетику) – 30,3 %, химическая и нефтехимическая промышленности – 12,8 %, машиностроение – 8,7 %, нефтедобыча – 6 % (главным образом, на поддержание пластового давления), сельское хозяйство – 5,1 %, пищевая отрасль – 3,5 %.

Известно, что состав природных вод весьма разнообразен и представляет собой сложную, непрерывно изменяющуюся систему, которая содержит минеральные и органические вещества во взвешенном, коллоидном и истинно растворенном состоянии, поэтому должны быть разнообразными и методы их очистки.

В данной статье представлен обзор работ, опубликованных за последнее десятилетие по проблемам, задачам, исследованиям и научно-техническим решениям подготовки и очистки воды на тепловых электрических станциях (ТЭС) и в нефтехимии.

Водоподготовка на ТЭС

Задача водоподготовки на ТЭС является весьма важной, поскольку здесь производятся в огромных количествах широко используемые энергоносители в виде водяного пара и горячей воды. Примеси, поступающие в парогенератор, вызывают ряд неблагоприятных явлений, таких как вспенивание воды (органические примеси, аммиак, амины, некоторые органические примеси), образова-

ние отложений на поверхностях нагрева (железо, медь, фосфаты), унос примесей паром и отложение их в турбине (соли натрия, силикаты, хлориды), коррозия теплосилового оборудования (кислород, кислоты, щелочи, уголекислота, Fe^{+3}).

В промышленных масштабах на стадии водоподготовки на ТЭС для удаления взвешенных и коллоидных примесей часто используют реагентные методы, основанные на использовании коагулянтов и флокулянтов различной природы. Для удаления истинно-растворимых веществ применяют методы ионного обмена – натрий-, H-катионирование и анионирование на ионитах отечественного или зарубежного производства.

Таким образом, водоподготовка по данной схеме связана с расходами коагулянта, реагентов на регенерацию фильтров, воды на собственные нужды установки (взрыхление, приготовление регенерационных растворов, отмывка), катионита и анионита на досыпку фильтров. Весьма ощутима также плата за сброс солевых сточных вод [1].

Поэтому в настоящее время все большее распространение находят комбинированные схемы подготовки воды, где первую ступень ионитного умягчения заменяют безреагентными способами [2-7].

Среди безреагентных способов водоподготовки наибольший интерес представляют мембранные технологии [8-11], которые условно можно разделить на баромембранные (ультра-, микро-, нанофильтрация и обратный осмос) и электрохимические [12]. Этот интерес обусловлен как экономическими, так и эксплуатационными преимуществами новых технологий перед традиционными.

Лидерство барометрических технологий при опреснении значительных объемов воды централизованным порядком не подлежит сомнению. Как показывает практика последнего десятилетия, освоенная не так давно техноло-

А.Г. Лаптев*,
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой Технологии воды и топлива Казанского государственного энергетического университета

Е.С. Сергеева,
кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры Технологии воды и топлива Казанского государственного энергетического университета

* Адрес для корреспонденции: info@ingehim.ru

гия обратного осмоса сегодня завоевала популярность на уровне массового применения в производственных процессах, особенно при очистке воды. Вместе с тем уже сейчас многие предприятия сталкиваются с уменьшением производительности и даже преждевременным выходом из строя обратноосмотических установок [13]. Причем снижение производительности последних на 95-97 % вызвано загрязнением поверхности мембран и на 3-5 % уплотнением полимерного материала мембран в результате длительного воздействия повышенного давления [14]. Для предотвращения отложения кристаллических загрязнений и удаления с поверхности мембран коллоидной пленки проводятся профилактические регенерационные промывки мембранного контура такими химикатами, как антискалат, коагулянт, хлор или восстановители (например, метабисульфитом натрия), которые могут самостоятельно стать источниками загрязнения [13].

При умягчении воды с помощью баромембранных технологий образуются значительные объемы концентрата, имеющего высокую жесткость и содержащего реагенты для предотвращения осадкообразования на мембранах. При гидравлическом КПД обратноосмотических установок 60-70 % расход концентрата составляет 40-30 %, что приводит к увеличению себестоимости очищенной воды [15]. Существенным резервом в безреагентной технологии водоподготовки является использование электрического тока, при котором происходит прямое превращение электрической энергии в энергию химических реакций, протекающих в растворе с большой скоростью. В настоящее время методы электрообработки получили развитие, как эффективные и прогрессивные в технологии очистки воды. Установки по реализации этих методов достаточно компактны, высокопроизводительны, процессы управления и эксплуатации сравнительно просто автоматизируются. Кроме того, электрообработка при правильном ее сочетании с другими способами, позволяет успешно очищать воды от ряда примесей различного состава и дисперсности [16].

Методы электрообработки природных и сточных вод относятся к современным способам. К преимуществам данных методов можно отнести отсутствие вторичного загрязнения обрабатываемой воды балластными ионами и возможность проводить за счет продуктов электролиза осаждение катионов металлов, декарбонизацию и обеззараживание воды, а также простоту аппаратного оформления при возможности автоматизации процесса [17].



Методы электрообработки (электрохимические методы) можно разделить на три основные группы:

- ◆ методы превращения, обеспечивающие изменение физико-химических характеристик загрязнений с целью их обезвреживания или более быстрого извлечения из воды. К ним относятся: электрокоагуляции, электроокисление, электровосстановление, электрокристаллизация;
- ◆ методы разделения, предназначенные для концентрирования примесей в ограниченном объеме электролита без существенного изменения фазово-дисперсных или физико-химических свойств извлекаемых веществ. К ним относятся электросорбция, электродиализ, электроосмос, электрофорез, электрофильтрация;
- ◆ комбинированные методы, которые предполагают совмещение одного или нескольких методов превращения и разделения загрязнений в одном аппарате. Эта группа, в основном, применяется для очистки сточных вод. К ним относятся электрофлококоагуляция, электроосаждение, электроионообменный метод, электрохимическое обеззараживание [16].

Наибольший интерес с точки зрения реализации принципа создания малосточных и малоотходных систем водоподготовки на объектах энергетики представляет вторая категория электрохимических методов обработки воды, а именно методы электро-мембранного разделения. К таким методам относят электродиализ, электросорбцию, электроосмос, электрофорез, электродеионизацию, электроактивацию.

В настоящее время уже существует положительный опыт внедрения в системы водоподготовки вышеуказанных методов. Так, в 2009 г. была спроектирована и введена в эксплуатацию технология химводоочистки, предназначенная для впрыска в газотурбинные установки 4-го энергоблока ТЭЦ-1 ОАО «Сахалинэнерго» (г. Южно-Сахалинск), в которой использовано оборудование обратного осмоса и электродеионизация. В настоящее время осуществляются пусконаладочные работы химводоочистки с использованием оборудования ультрафильтрации, обратного осмоса и электродеионизации для паровых котлов и теплоснабжения ПГЭС ОАО «Мордовцемент» (пос. Комсомольский, республика Мордовия) производительностью 70 м³/час [17]. Электрохимический антинакипный способ водоподготовки также реализуется на энергетических объектах г. Ковров Владимирской области, г. Лукоянов Нижегородской области, г. Москва (район Измайлово) и многих др. [18].

Электродиализ – это процесс переноса ионов через мембрану под действием электрического поля, приложенного к электродам. Скорость переноса ионов может изменяться подбором соответствующей силы тока. Такой перенос может осуществляться против градиента концентрации.

Процесс проводят в электродиализаторах, простейшая конструкция которых состоит из трех камер, отделенных одна от другой мембранами. В среднюю камеру заливают обрабатываемую воду, а в боковые, где расположены электроды – чистую воду. Анионы под действием электрического тока мигрируют в анодное пространство. На аноде выделяется кислород и образуется кислота. Одновременно катионы переносятся в катодное пространство. На катоде выделяется водород и образуется щелочь. По мере прохождения тока концентрация солей в средней камере уменьшается до тех пор, пока не станет близкой к нулю. За счет диффузии в среднюю камеру поступают ионы H^+ и OH^- , образуя воду. Данный процесс замедляет перенос ионов соли к соответствующим электродам. Характеристики процесса подробно описаны в работах [19-21].

Основным недостатком электродиализа является концентрационная поляризация, приводящая к осаждению солей на поверхности мембран и снижению показателей очистки [22]. Кроме того, обеспечение небольшой производительности по очищенной воде (до $50 \text{ м}^3/\text{ч}$) требует значительных капитальных затрат на строительство электродиализной установки.

Электросорбция схожа с электродиализом. Набор мембран для проведения электросорбции состоит из ряда сплюснутых мембранных мешков, причем одна сторона мешка проявляет катионо-, а другая – анионообменные свойства. Когда электрический ток проходит через весь мембранный набор, то катионы исходного раствора, расположенного вне мембранного мешка, переходят в него через ту его сторону, которая проявляет катионообменные свойства, анионы же переносятся через другую сторону мешка. Раствор, находящийся с внешней стороны мешков, обедняется солями, а раствор внутри мешков концентрируется. Сконцентрированный раствор может быть затем удален из мембранных мешков путем изменения направления приложенного постоянного электрического тока на противоположное. Здесь не требуется ни прокладок, ни коллекторов для растворов.

Такая простота и высокая рабочая поверхность мембран дают большие преимущества [23, 24]. К недостаткам относят большой рас-

Ключевые слова:

жесткость воды,
умягчение,
нефтепродукты,
отстаивание,
сорбционная очистка

ход электроэнергии и низкую эффективность очистки.

Электроосмос (от электро- и греч. *osmos* – толкание, давление) – это движение жидкости через капилляры или поры диафрагмы под действием внешнего электрического поля; это одно из электрокинетических явлений, на котором основана, например, очистка воды.

В данном осмотическом процессе важную роль играют размер пор, относительное содержание гидрофильных веществ по отношению к гидрофобным, а также термическая стабильность электрически заряженной мембраны.

Пока этот процесс не составляет конкуренцию другим процессам – трудно изготовить подходящую мембрану, которая проявляет высокую проницаемость по воде при высокой емкости или, что то же самое, при большом дзета-потенциале. Если общая ионная концентрация в исходном растворе мала, то электрическое сопротивление растворов довольно велико, что влечет за собой большие затраты электрической энергии.

Электроосмос применяется при очистке коллоидных растворов от примесей, для очистки воды [25].

Электрофорез – движение под действием внешнего электрического поля твердых частиц, пузырьков газа, капель жидкости, а также коллоидных частиц, находящихся во взвешенном состоянии в жидкой или газообразной среде.

Электрофоретическая ячейка состоит из ряда мембран и фильтров. Через мембраны свободно проходят небольшие ионы под действием электрического тока, а большие коллоиды задерживаются. С другой стороны, большинство коллоидов и вода свободно проходят через фильтры.

Электрофорез применяют при определении взвешенных в жидкости мелких частиц, не поддающихся фильтрованию или сжатию, для обезвоживания торфа, разделения масляных эмульсий, осаждения дымов и туманов [26].

При помощи данного процесса, используя набор мембран, можно проводить обессоливание воды. В этом случае мембранный набор состоит из определенно чередующихся мембран (катионообменных и нейтральных). Главное преимущество такого процесса обессоливания – это относительно небольшие затраты электрической энергии и применение небольшого внешнего давления. В качестве недостатка можно отметить, что электрофорез нецелесообразно использовать для умягчения воды при средней и высокой производительности из-за крупных габари-

тов установки. Кроме того, образующийся в процессе шлам трудно утилизируется.

Электродеионизация – процесс непрерывной деминерализации воды с использованием ионообменных смол, ионоselectивных мембран и постоянного электрического поля. Основной движущей силой процесса является разность потенциалов электрического поля по обе стороны мембранного канала, заполненного ионообменной смолой, которая обеспечивает перенос растворенных ионов из потока воды через ионоselectивные мембраны и непрерывную регенерацию ионита [27].

Электроактивация основана на использовании электродиализа и электролиза на начальной его стадии, когда начинают сдвигаться равновесные потенциалы электродов. Электроактивация реализуется в аппаратах диафрагменного электролиза. Под действием электрического тока анионные и катионные примеси обрабатываемой воды мигрируют в анодную и катодную камеры, соответственно. Диафрагма полупроницаемая, т.е. проницаема для всех ионов и не проницаема для молекул воды. Умягчение воды достигается за счет концентрирования катионов жесткости в катодной камере и последующего их отстаивания [28].

В отличие от других электрохимических методов умягченная вода образуется в катодной и анодной камерах, что позволяет увеличить производительность установок.

Проведенные исследования изменения химического состава в процессе электроактивации позволяют считать целесообразным применение данного метода для частичного обессоливания воды в схемах предочистки перед ионным обменом, перед фильтрами умягчения в схемах подготовки воды котлов среднего давления, паропреобразователей установок подпитки теплотрассы [29].

Разработан метод интенсификации процесса умягчения воды в аппарате диафрагменного электролиза за счет предварительного насыщения воды углекислотой и тем самым ускорения образования центров кристаллизации труднорастворимых соединений в катодной камере электролизера [30].

Оценивая эти методы с точки зрения экологичности, можно сделать вывод о том, что их отличительной особенностью является получение в процессе электроактивации труднорастворимых соединений солей жесткости. Они являются после отстойника конечным товарным продуктом (гипс, доломит, магнетит и т.д.), который широко используется в народном хозяйстве.

Обзор публикаций, рассмотренных выше, позволяет сделать выводы о разнообразии



электрохимических методов обессоливания воды в промышленных целях и заинтересованности ученых в теоретических и экспериментальных исследованиях умягчения воды в аппаратах диафрагменного электролиза.

На лабораторном макете аппарата диафрагменного электролиза были проведены исследования зависимости степени умягчения воды от содержащейся в ней углекислоты [28-30].

Умягчение воды в камерах электролизера достигается за счет переноса катионов жесткости из анодной камеры в катодную и образования в последней центров кристаллизации нерастворимых соединений $Mg(OH)_2$, $CaCO_3$. Особый интерес представляет карбонат кальция $CaCO_3$, т.к. в природных водах концентрация кальция во много раз больше концентрации магния.

Согласно теоретическим исследованиям выпадение в осадок карбоната кальция невозможно при состоянии равновесия между растворенной в воде углекислотой и ионами кальция. Для процесса ускорения образования твердой фазы необходимо достаточное количество анионов угольной кислоты, которое в первую очередь зависит от pH природной воды.

С целью интенсификации процесса образования труднорастворимых соединений обрабатываемую воду насыщали углекислотой, доза которой выбиралась исходя из предположения, что вся углекислота переходит в карбонат-ион CO_3^{2-} и расходуется на образование карбоната кальция $CaCO_3$. При этом содержание карбонат-иона должно быть эквивалентно содержанию кальция в воде (стехиометрическое соотношение 1:1). Предполагается, что при обработке воды, насыщенной углекислотой, происходит ускорение образования центров кристаллизации труднорастворимого соединения карбоната кальция.

На *рис. 1* представлены экспериментальные данные [30] изменения жесткости воды в аппарате непроточного типа при плотности тока $36,4 \text{ A/m}^2$ и общем напряжении на электролизере 75 В (начальная жесткость воды $J_0 = 4,2 \text{ мг-экв/л}$) без насыщения воды углекислотой (а) и с насыщением (б). Данные по изменению жесткости воды в катодите представлены после его отстаивания.

Из представленных на рисунке данных видно, что максимальная степень умягчения воды наблюдается при абсолютном давлении 1,25 атм. В катодной камере необходимая жесткость (0,1 мг-экв/л) достигается при 300 сек., в анодной – при 400 сек. Кроме того, при времени пребывания воды в аппарате от 100 до 300 сек. эффективность ее очистки от солей жесткости в 2 раза выше с

дозированием углекислоты. Пребывание воды в аппарате свыше указанных значений приводит к незначительному изменению жесткости воды [28-30].

Таким образом, внедрение электролизной технологии с предварительным насыщением воды углекислотой в систему водоподготовки взамен традиционно используемых методов обессоливания может являться перспективным ввиду достижения умягчения воды с минимальными затратами, и, следовательно, со значительным ресурсосбережением.

Очистка сточных вод на ТЭС и нефтехимии
Современные ТЭС являются источниками следующих видов сточных вод:

- 1) воды охлаждения конденсаторов турбин;
 - 2) регенерационные и промывочные воды от водоподготовительных установок и узлов очистки конденсата;
 - 3) воды от обмывок наружных поверхностей котлов пиковых подогревателей работающих на сернистом мазуте;
 - 4) отработавшие растворы после химической очистки теплового оборудования и его консервации;
 - 5) воды систем гидрозолошлакоудаления на ТЭС, работающих на твердом топливе;
 - 6) воды, загрязненные нефтепродуктами [31].
- Особую угрозу окружающей среде представляют сточные воды, загрязненные нефтепродуктами.

Источником появления нефтепродуктов в сточных водах ТЭС являются мазутные хозяйства, главный корпус, электротехническое оборудование (трансформаторы), вспомогательные службы (депо, гаражи, компрессоры).

Исследования показали, что общий расход сточных вод, загрязненных нефтепродуктами, довольно трудно увязать с такими параметрами ТЭС, как установленная мощность и тип оборудования. В основном потери нефтепродуктов на ТЭС связаны с некачественным монтажом оборудования, а также с аварийными ситуациями.

Сточные воды мазутохозяйств складываются из ряда составляющих: охлаждающая вода насосов, конденсат мазутных хозяйств, загрязненная мазутом вода из грунта, а также образовавшаяся при аварийных спусках и ремонтных работах.

Основными источниками загрязнения воды маслами главного корпуса являются масло-системы турбин и подшипников вращающихся механизмов. Расход воды из главного корпуса может достигать десятков тонн в час при достаточно больших загрязнениях [31-33].

Нефтепродукты сточные воды ТЭС после соответствующей обработки попадают, как правило, в поверхностные водоёмы. Однако

тов (мазута, масел) из воды является одной из наиболее сложных проблем в работе водно-химических систем. Концентрация нефтепродуктов в некоторых видах сточных вод может достигать 1000 мг/л, а при аварийных и залповых сбросах намного больше. Их высокая летучесть при выпаривании является причиной загрязнения дистиллята, в котором содержание нефтепродуктов может достигать 10 мг/л (табл. 1).

Глубина очистки воды от нефтепродуктов зависит от вида очистки или комплекса различных видов очистки, что, в свою очередь, зависит от вида и концентрации нефтепродуктов в воде. По физическим свойствам различают легко отделяемые, трудноотделимые и растворимые в воде нефтепродукты. К числу главных проблем при очистке нефтепродуктов сточных вод относится выделение эмульгированных минеральных масел,

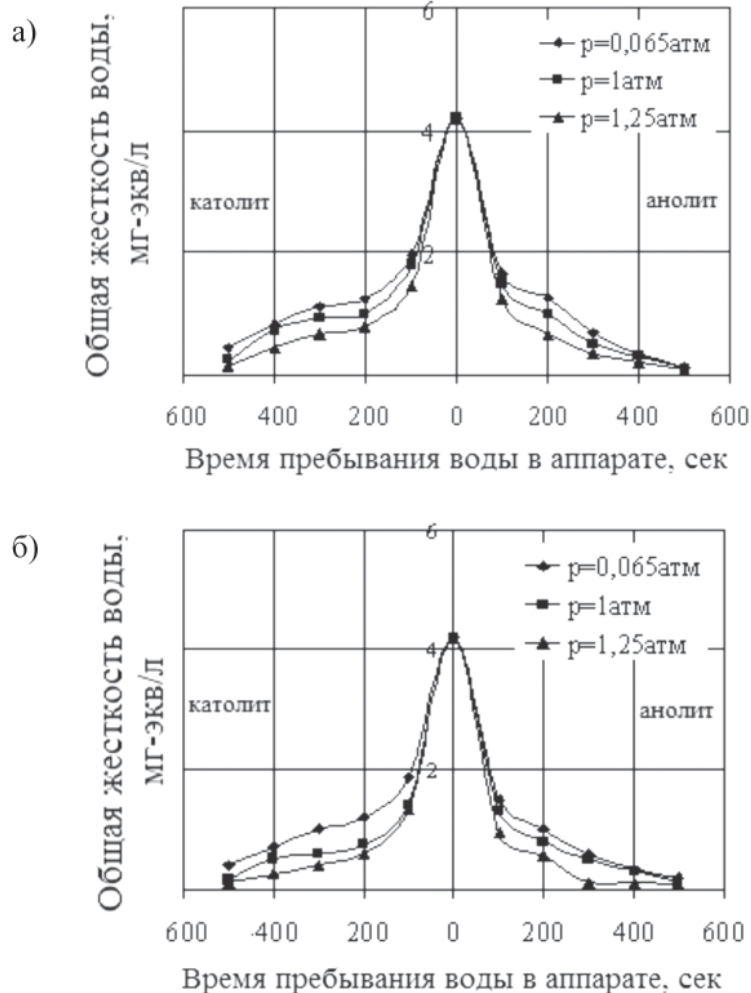


Рис. 1. Экспериментальные данные изменения жесткости воды в аппарате непроточного типа при плотности тока $36,4 \text{ А/м}^2$ и общем напряжении на электролизере 75 В (начальная жесткость воды $J_0=4,2 \text{ мг-экв/л}$): а) без насыщения воды углекислотой; б) с насыщением воды углекислотой.

Таблица 1

Рекомендации по выбору процессов очистки нефтесодержащих сточных вод [39]

Загрязняющие вещества	Концентрация, мг/л	Оптимальный процесс очистки	Эффективность очистки
Нефтепродукты (масла) нестабилизированные	>100	Отстаивание в нефтеловушках	Не менее 60 %
		Центробежное разделение в гидроциклоне	Не менее 60 %
	20-100	Тонкослойное отстаивание в нефтеловушках	Не менее 60 %
		Отстаивание с коагуляцией или электрокоагуляцией	До 70 %
		Флотация с коагуляцией	До 80 %
		Электрокоагуляция-флотация	До 80 %
	<20	Крупнозернистые фильтры с коагуляцией	До 90 %
		Тонкослойное отстаивание коагуляцией	До 60 %
		Фильтрование через зернистые загрузки	Эффективность очистки зависит от скорости фильтрования
Нефтепродукты (масла) слабостабилизированные	>300	Отстаивание в нефтеловушках	Не менее 60 %
		Центробежное разделение в гидроциклоне	Не менее 60 %
	20-100	Тонкослойное отстаивание в нефтеловушках	Не менее 60 %
		Отстаивание с коагуляцией или электрокоагуляцией	До 60 %
		Флотация с коагуляцией	До 70 %
	20-100	Электрокоагуляция-флотация	До 70 %
		Крупнозернистые фильтры с коагуляцией	До 80 %
	<20	Тонкослойное отстаивание коагуляцией	До 70 %
		Фильтрование через зернистые загрузки с коагуляцией	Концентрация нефтепродуктов в очищенной воде до 3 мг/л
Нефтепродукты (масла) сильностабилизированные	>1000	Отстаивание в нефтеловушках	Не менее 60 %
		Центробежное разделение в гидроциклоне	Не менее 60 %
	300-1000	Отстаивание в нефтеловушках с предварительной дестабилизацией	Эффективность очистки зависит от продолжительности отстаивания
		Флотация с коагуляцией с предварительной дестабилизацией	До 70 %
	20-300	Флотация с коагуляцией с предварительной дестабилизацией	До 60 %
		Электрокоагуляция-флотация с предварительной дестабилизацией	До 70 %
	<20	Фильтрование через зернистые загрузки с коагуляцией с предварительной дестабилизацией	Концентрация нефтепродуктов в очищенной воде до 10 мг/л
	Растворенные нефтепродукты (масла)		Адсорбция
Обратный осмос			
Окисление			

и в грунтовые воды возможно попадание нефтепродуктов при отсутствии специальных мер по предотвращению их попадания на землю.

С целью разработки эффективных решений по реконструкции очистных сооружений ниже рассматриваются методы, технологии

и аппараты очистки сточных вод от нефтепродуктов, наиболее распространенные в отечественной и зарубежной практике, состоящие работ в этой области и соответствующие достижения [34-56].

Опыт эксплуатации ГРЭС, а также ТЭС и АЭС показывает, что удаление нефтепродук-

мазута и других видов нефтепродуктов. Поэтому однозначно дать рекомендацию по выбору метода очистки, не имея четкого представления о качестве и количестве загрязненной воды, практически невозможно [31, 32].

Очистка сточных вод на современных промышленных предприятиях включает несколько последовательных стадий: предварительной механической очистки, в процессе которой из сточных вод удаляются грубодисперсные и всплывающие примеси; физико-химической очистки (удаляются взвешенные и коллоидные вещества, частично органические растворенные и эмульгированные вещества) и глубокой очистки воды (доочистки), при которой степень удаления загрязняющих веществ практически не регламентируется и определяется исключительно условиями сброса очищенных вод в водоёмы или условиями использования очищенной воды в обороте [36-38].

В настоящее время для очистки сточных вод ТЭС от нефтепродуктов применяют методы отстаивания, флотации, фильтрования, электрохимические методы и в редких случаях коагуляцию и электрокоагуляцию [31-43].

Литература

1. Малахов И.А. Экономичные малоотходные технологии подготовки воды на ТЭС и в котельных // Энергосбережение и водоподготовка. 2003, № 1. С. 24-25.
2. Бирагова Н.Ф. Электрохимический способ очистки сточных вод спиртового завода // Экология и промышленность России. 2004 № 12. С. 18-19.
3. Андреев А.Г. Об экономической эффективности акустических, противонакипных устройств в системах ГВС / Андреев А.Г., Панфиль П.А. Паньшин А.С. // Новости теплоснабжения. 2004. № 6 (46). С. 51-52.
4. Панфиль П.А. Ультразвуковая технология предотвращения образования накипи / Панфиль П.А, Андреев А.Г. // Новости теплоснабжения. 2001, № 7 (11). С. 43-45.
5. Щелоков Я.М. О магнитной обработке воды // Новости теплоснабжения. 2002. № 8 (24). С. 41-42.
6. Банников В.В. Проблемы накипи и энергосбережения // Энергосбережение. 2005, №3. - С. 58-60.
7. Казимиров О.Е. Новый электрохимический способ водоподготовки для водогрейных котельных и тепловых пунктов // Новости теплоснабжения. 2001 № 12 (16). С. 43-45.
8. Беляк А.А. Эффективность ультрафильтрационных мембран при очистке московской воды /Беляк А.А., Гонтовой А.В. Смирнов А.Д., Коверга А.В., Арутюнова И.Ю



// Водоснабжение и санитарная техника. 2008. № 7. С. 15-20.

9. Андрианов А.П. Перспективы применения мембранных методов ультрафильтрации и нанофильтрации на крупных водопроводных станциях Андрианов А.П., Первов А.Г. // Водоочистка. 2007. № 2. С. 10-15.
10. Первов А.Г. Метод ультрафильтрации в современном водоснабжении /Первов А.Г., Андрианов А.П. // Водоочистка. 2006, № 12. С. 11-14/
11. Первов А.Г. Установки обратного осмоса в схемах подготовки воды для паровых котлов /Первов А.Г. Бондаренко В.И. // Водоснабжение и санитарная техника. 2005. № 6. С. 17-23.
12. Громов С.Л. Использование современных интегрированных мембранных технологий для улучшения качества питательной воды на предприятиях энергетики/ Громов С.Л., Ковалев М.П., Сидоров А.Р., Лысенко С.Е., Самодуров А.Н., Пантелеев А.А.// Водоочистка. 2007. № 8. С. 13-16/
13. Черкасов С. Обратный осмос: теория, практика, рекомендации // Энергослужба предприятия. Апрель 2006. С. 21-23/
14. Водоподготовка: Справочник. /Под ред. д.т.н., действительного члена Академии промышленной экологии С.Е. Беликова. М.: Аква-Терм, 2007. 240 с.
15. Долгополов П.И. Особенности реагентного умягчения подземных вод и концентрата обратноосмотических установок в вихревых реакторах /Долгополов П.И., Амосова Э.Г., Журавлев С.П. // Водоснабжение и санитарная техника. 2008. № 2. С. 32-37.
16. Вурдова Н.Г. Фомичев В.Т. Электродиализ природных и сточных вод. Москва: АСВ, 2001. 144 с.
17. www.bw-ltd.ru
18. Казимиров Е.К. Теоретические и практические аспекты использования электрохимического антинакипного способа водоподготовки /Казимиров Е.К., Казимиров О.Е. // Энергосбережение и водоподготовка. 2008, № 5. С. 27-31.
19. Дресвянников А.Ф. Электрохимическая очистка воды / Дресвянников А.Ф., Дресвянников Ф.Н., Ситников С.Ю. // Казань: Фен, 2004. 178 с.
20. Смагин В.Н. Обработка воды методом электродиализа, М.: Стройиздат, 1986. 171 с.
21. Надысев В.С. Опыт электрохимической очистки природных и сточных вод / Надысев В.С., Безгина И.М.. // М.: Химия, 1974. 24 с.
22. Пилипенко А.Т. Комплексная переработка минерализованных вод. Киев: Наукова думка, 1984. 283 с.
23. Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии: Учеб. пособие для

вузов. Изд-2. В 2-х кн. Часть 2. Массообменные процессы и аппараты. М.: Химия, 1995. 368 с.

24. Lacey R.E. Effect of economic and technical factors on the cost of demineralization by electro dialysis / Lacey R.E., Lang E.W. and Huffman E.L. // Saline Water Conversion, Chemistry of Water Supplies, 1962. Volume 2, Number 1. Page No. 31

25. Тихомолова К.П. Электроосмос. М.: Химия, 1989. 248 с.

26. Хванг С.-Т. Мембранные процессы разделения / Хванг С.-Т., Каммемейер К. // Пер. с англ. Под ред. проф. Дытнерского Ю.И. М.: Химия, 1981. 464 с.

27. Федоренко В. Производство ультрачистой воды методом непрерывной электродеионизации // Химико-фармацевтический журнал. 2003, т. 37. С. 49–52.

28. Демидова Ю.М. Повышение эффективности процесса электрохимического умягчения воды в системах водоподготовки малых объектов теплоэнергетики / Демидова Ю.М., Шинкевич Е.О., Лаптев А.Г. // Изв. высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2009. № 7-8. С. 106-109.

29. Шинкевич Е.О. Исследование интенсификации процесса умягчения воды в электрохимических ячейках диафрагменного электролизера в системах водоподготовки на малых объектах теплоэнергетики / Шинкевич Е.О., Демидова Ю.М., Лаптев А.Г. // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2009, № 5-6. С. 97-101.

30. Демидова Ю.М. Повышение качества электрохимического обессоливания воды путем дозирования углекислоты / Демидова Ю.М., Шинкевич Е.О., Лаптев А.Г. // Вода: химия и экология. 2009. № 2, С. 13-16

31. Рихтер Л.А., Волков Э.П., Покровский В.Н. Охрана водного и воздушного бассейнов от выбросов ТЭС. М.: Энергоиздат, 1981. 198 с.

32. Экология энергетики. Под ред. Путилова В.Я. М.: МЭИ, 2003. 388 с.

33. Абрамов А.И. Повышение экологической безопасности ТЭС / Абрамов А.И., Елизаров



Д.П., Ремезов А.Н., Седлов А.С., Стерман Л.С., Шищенко В.В. // Учеб. пособие. М.: МЭИ, 2001. 402 с.

34. Daniels David. Powerplants learn to reuse, recycle // Power (USA). 2001. V. 145. № 5. P. 45-54.

35. Лаптедутьче Н.К. Очистка сточных вод ТЭС от нефтепродуктов / Лаптедутьче Н.К., Сергеева Е.С. // В сб.: Тепломассообменные процессы и аппараты химической технологии. Казань: КГТУ, 2004. С. 86-90.

36. Ильин В.И. Очистка сточных вод тепловых электрических станций / Ильин В.И., Кисиленко П.Н., Костюченко В.В., Колесников В.А., Терпугов Г.В. // Водоочистка. 2006. № 10. С. 28–30.

37. Жуков А.И. Методы очистки производственных сточных вод. М.: Стройиздат, 1977. 156 с.

38. Проскуряков В.А. Очистка сточных вод в промышленности / Проскуряков В.А., Шмидт Л.И. // Л.: Химия, 1977. 356 с.

39. Пономарев В.Г. Очистка сточных вод нефтеперерабатывающих заводов / Пономарев В.Г., Иоакимис Э.Г., Монгайт И.Л. // М.: Химия, 1985. 184 с.

40. Копылов А.С. Водоподготовка в энергетике / Копылов А.С., Лавыгин В.М., Очков В.Ф. // Учебное пособие для вузов. М.: Издательство МЭИ, 2003. 309 с.

41. Берне Ф. Водоочистка. Очистка сточных вод нефтепереработки. / Берне Ф., Кардонье Ж., пер. с фр. // Под ред. Роздина М.А., Хабаровой Е.Н. М.: Химия, 1997. 152 с.

42. Фарахов М.И. Энергосберегающие модернизации установок на предприятиях нефтегазохимического комплекса / Фарахов М.И., Лаптев А.Г., Минеев Н.Г. // Химическая техника, 2008. № 12. С. 4-7.

43. Лаптев А.Г. Гидромеханические процессы в нефтехимии и энергетике / Лаптев А.Г., Фарахов М.И. // Пособие к расчету аппаратов Казань: Изд-во Казанского Университета, 2008. 720 с.



A.G. Laptev, E.S. Sergeeva

WATER TREATMENT AND WASTEWATER PURIFICATION IN POWER SYSTEMS. Part 1.

A critical review of water treatment and wastewater purification on thermal electric power

stations and industrial plants has been made

Key words: water hardness, softening, oil products, sedimentation, sorption purification

