

ОБОБЩЕНИЕ ОПЫТОВ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОЧИСТКИ ВОДЫ НА ТЭС

В.Н. ВИНОГРАДОВ, канд. техн. наук, А.В. ЖАДАН, Б.А. СМИРНОВ, О.В. СМИРНОВ, инженеры,
В.К. АВАН, асп., Е.А. КАРПЫЧЕВ, инж.

Предлагаются результаты сравнительного обследования водоподготовительных установок. Приведены практически проверенные способы увеличения технологической эффективности и располагаемой производительности осветлителей, в том числе, при реконструкции. Показана перспективность применения осветлителей с микропеском.

Ключевые слова: теплоэнергетика, предварительная очистка воды.

ANALYZING WATER PRELIMINARY TREATMENT EXPERIMENTS AT THERMAL POWER STATIONS

V.N. VINOGRADOV, Candidate of Engineering, A.V. ZHADAN, B.A. SMIRNOV, O.V. SMIRNOV, Engineers,
V.K. AVAN, Post Graduate Student, E.A. KARPUCHEV, Engineer

This article shows the results of the comparative survey at water treating plant. The authors present practically proved methods to increase technological efficiency and productivity of clarifier even at the reconstruction. The effectiveness of using clarifiers with micro sand is shown.

Key words: heat power engineering, water preliminary treatment.

Для большинства тепловых и атомных электрических станций России источником водоснабжения служат открытые водоемы: реки, озера, водохранилища. Их воды содержат грубодисперсные (взвешенные вещества), коллоидные примеси и истинно-растворенные вещества. Оптимальные схемы водоподготовки содержат в своем составе специализированные функциональные узлы. И первым из этих узлов при обработке поверхностных вод является предварительная очистка (предочистка), обеспечивающая удаление из воды взвешенных и коллоидных веществ, ее обесцвечивание и частичную дезинфекцию, а также, в частных случаях, обезжелезивание, уменьшение жесткости, щелочности и солесодержания воды. Ниже приводятся результаты сравнительных обследований предочисток различного типа водоподготовительных установок (ВПУ). Путем анализа результатов обследований ВПУ ТЭС установлены преимущества и недостатки основных схем предварительной очистки воды.

Предварительная очистка воды по технологии ультрафильтрации. Исходная вода, подогретая до температуры от 10 до 25 °С, поступает на самопромывные фильтры ВПУ, где происходит ее механическая очистка от взвешенных веществ. После самопромывных фильтров в трубопровод дозируется коагулянт и вода поступает в емкости для коагуляции и далее – на установку ультрафильтрации для ее окончательной очистки от взвешенных веществ, образовавшихся в результате коагуляции, затем в баки осветленной воды. Осветленная вода может быть направлена на осмотическое или ионитное обессоливание.

Преимущества данной схемы:

- компактность оборудования;
- полная автоматизация;

- высокая степень снижения концентрации взвешенных веществ, вирусов и бактерий.

Недостатки схемы:

- большой расход сбросных вод в отсутствие систем по их повторному использованию;
 - высокая стоимость замены мембранных элементов;
 - зачастую необходимость установки предварительной подготовки воды;
 - невозможность ручного управления при отказе контроллера системы автоматического управления;
 - ограниченность применения ультрафильтрации на эффективной ВПУ массовой концентрацией взвешенных веществ в воде перед ней не более 50 мг/дм³. Например, на Новочеркасской ГРЭС ОГК-6 установка работала и при концентрации взвешенных веществ до 200 мг/дм³. Эта установка была оборудована контуром внутренней рециркуляции с насосом. При повышении концентрации взвешенных веществ в исходной воде до 200 мг/дм³ наблюдалось уменьшение ее производительности примерно на 20 %;
 - высокая стоимость оборудования, которая, однако, может быть компенсирована за счет уменьшения стоимости здания ВПУ при новом строительстве;
 - высокая чувствительность мембранных систем к наличию в воде антропогенных загрязнений, таких как нефтепродукты.
- Водные промывки ультрафильтрационной установки (УФУ) осуществляются осветленной водой, полученной при обработке исходной воды коагулянтом. Чем чаще проводятся водные отмывки, тем больше расход коагулянта на собственные нужды ВПУ. Сточные воды от химически усиленных промывок

нуждаются в нейтрализации и дезактивации активного хлора.

Использование эффектов сорбции в сочетании с применением технологии ультра-фильтрации возможно при реализации так называемой технологии напорной коагуляции, когда вода, обработанная коагулянтами, сначала подается в напорные контактные емкости. Такая схема успешно реализована и применяется на Шатурской ГРЭС, причем исключение контактных емкостей из схемы коагуляции мгновенно приводило не только к увеличению цветности и мутности фильтрата, но и к уменьшению фильтроциклов модулей ультра-фильтрации.

Затраты воды на собственные нужды для данной технологической схемы напрямую зависят от массовой концентрации взвешенных веществ. Увеличение в исходной воде этой концентрации увеличивает количество промывок самопромывных фильтров и модулей УФУ.

Таким образом, зависимость работы установки от качества исходной воды сужает область эффективного применения данной технологической схемы. Такая схема может использоваться в России для обработки воды таких рек, как Енисей, Ангара (верховье), озер Имандра, Байкал. Малая минерализация вод этих источников уменьшает экономическую эффективность осмотической стадии схемы, в связи с чем на ТЭЦ-11 в Усолье-Сибирском установка ультрафильтрации предшествует противоточной ионообменной установке, работающей по технологии Schwebbett. Как известно, данная противоточная технология предъявляет наиболее жесткие требования к качеству подаваемой на нее воды.

Предварительная очистка воды по технологии известкования и коагуляции в осветлителях. Исходная вода, подогретая до температуры 35 ± 1 °С, поступает в осветлитель, работающий по технологии обработки воды известкованием и коагуляцией, далее – в бак известково-коагулированной воды и из него на механические фильтры, Na-катионитные фильтры, установку обратного осмоса (УОО). Стоит отметить, что современные технологии осветления, разработанные зарубежными специалистами, такие как Multiflo компании Veolia или Densadeg компании Degremont, обеспечивают достижение стабильно хороших эксплуатационных показателей и при значительно меньших температурах.

Преимущества данной схемы:

- умягчение и декарбонизация воды на стадии предварительной очистки, уменьшение ионной нагрузки на Na-катионитные фильтры;
- минимальный расход сбросных вод и возможность их утилизации;
- отсутствие зависимости принципиального технологического решения от степени за-

грязненности исходной воды взвешенными веществами;

- хорошие влагоотдающие свойства шлама, позволяющие при применении фильтр-прессов практически исключить образование жидких отходов на стадии предочистки;

- эффективное удаление из воды соединений железа и коллоидной кремниевой кислоты.

Недостатки схемы:

- наличие известкового хозяйства, плохо поддающегося автоматизации;

- зависимость эффективности оборудования от качества исходной воды. В качестве исходных рассматриваются воды с большими жесткостью и щелочностью, для которых наиболее применима технология известкования и коагуляции. По крайней мере, эта технология предочистки рекомендована к использованию при общей щелочности исходной воды более 2 мг-экв/дм³;

- большое количество шлама;

- нестабильное качество осветленной воды. Так, например, на Первомайской ТЭЦ ТГК-4 процессы декарбонизации заканчивались за пределами осветлителя, что приводило к образованию отложений карбоната кальция в фильтрующей загрузке механических фильтров;

- необходимость ступени механической фильтрации для доочистки известково-коагулированной воды;

- крупные габариты установки и, как следствие, большие объем здания ВПУ и стоимость строительства. Большая металлоемкость и стоимость отечественных осветлителей.

Таким образом, зависимость работы установки от качества исходной воды сужает область применимости и данной технологической схемы. В России она применима для обработки вод, которые имеют увеличенные жесткость и щелочность.

Говоря об известковании, уместно упомянуть реакторы быстрой декарбонизации. В них осуществляется химическая обработка воды путем добавления извести, а иногда, и едкого натра (как, например, на Киевской ТЭЦ-5). При использовании кальцинированной соды удаётся удалить не только временную, но и часть постоянной жесткости. Известны случаи применения песка в качестве интенсификации процесса, при этом вместо хлопьев шлама на песчинках образуются зерна карбоната кальция. Они имеют высокую гидравлическую крупность и отличаются низким влагосодержанием. Возможно использование зерен карбоната кальция в качестве добавки при производстве строительных конструкций. Недостатком такой технологии являются безвозвратные потери песка и, следовательно, необходимость в их регулярном восполнении. При неблагоприятном сочетании кальциевой и магниевой жесткости шлам, образующийся в результате известкования, получается более аморфным, и

его осаждение иногда требует длительного времени или ввода дополнительных реагентов, таких как коагулянты и (или) флокулянты.

Реакторы быстрой декарбонизации можно использовать при подпитке оборотных циклов водами, характеризующимися высоким содержанием натрия с малой цветностью и мутностью.

Предварительная очистка воды в осветлителях по технологии коагуляции и последующей ультрафильтрации или механической фильтрации в фильтрах с зернистой загрузкой. Исходная вода, подогретая до температуры 25 ± 1 °С (как писалось выше, осветлители с горизонтальным движением воды менее чувствительны к изменению температуры и обеспечивают стабильную работу в более широком диапазоне), поступает в осветлитель, работающий по технологии обработки воды коагулянтами и флокулянтами. В остальном технологическая схема повторяет схему очистки воды по технологии ультрафильтрации. Промывочные воды установки ультрафильтрации возвращаются в осветлитель. При налаженном режиме работы осветлителя массовая концентрация взвешенных веществ в коагулированной воде менее 2 мг/дм^3 . Установка ультрафильтрации при данном качестве воды находится в идеальных условиях, реагенты в воду перед нею не дозируются. Подобные схемы часто реализуются на зарубежных водопроводных станциях, в странах, где законодательная база не допускает регулируемую обработку воды хлорсодержащими реагентами. В таких проектах основная роль ультрафильтрации сводится не к осветлению воды, а к задержанию вирусов и бактерий.

Преимущества данной схемы:

- небольшой расход сбросных вод от предочистки и возможность их утилизации;
- отсутствие зависимости принципиально технологического решения от загрязненности исходной воды взвешенными веществами;
- сочетание максимально низкого рейтинга фильтрации с возможностью сорбционного удаления низкомолекулярных органических кислот, полисахаридов, коллоидных соединений кремниевой кислоты;
- наибольшая эффективность коагуляции при подготовке воды перед обратным осмосом;
- возможность использования как напорных, так и погружных мембран ультрафильтрации;
- увеличение срока службы ультрафильтрационных элементов и, как следствие, уменьшение эксплуатационных затрат.

Недостатки схемы:

- высокая стоимость как строительства здания, так и технологического оборудования;
- осложнен выбор флокулянтов, так как не все флокулянты, оптимальные для процес-

са коагуляции, совместимы с процессом ультрафильтрации (многие высокомолекулярные анионные полимеры склонны к образованию тяжелых и клейких макрохлопьев, осадок которых практически не вымывается из полых волокон ультрафильтрации. То есть, при подборе флокулянтов и режима коагуляции необходимо обеспечить минимальные остаточные концентрации флокулянта).

Дозирование ингибиторов (антискалантов) перед установкой обратного осмоса обусловлено необходимостью стабилизационной обработки воды для предотвращения закрепления отложений на мембранах. Вторичное использование концентрата в технологических схемах водоподготовки затруднено из-за наличия в нем ингибиторов. Иногда концентрат удастся использовать в технологических схемах ТЭС. Известны схемы, где вместо ингибиторов используют подкисление.

Данная технологическая схема довольно часто применима в России. Однако практически везде ультрафильтрация с предочисткой в виде дисковых или сетчатых фильтров выходит по частоте использования в проектах на передовые позиции. Основными причинами такой тенденции можно назвать две: практическое отсутствие современных эффективных осветлителей отечественного производства и «удобство» проектирования блочно-модульных мембранных систем. Тем не менее применение этой схемы можно обосновать технико-экономически, по сравнению со схемами, представленными выше, и классическими схемами с предочисткой в осветлителях и ионитным или термическим обессоливанием вод.

Предварительная очистка воды путем ее прямоточной коагуляции. Исходная вода, нагретая до температуры 28 ± 2 °С, поступает по трубопроводу в механические фильтры. В этот трубопровод перед статическим смесителем, возможно ближе к механическим фильтрам, дозируется пропорционально расходу исходной воды рабочий раствор коагулянта. Доза (массовая концентрация) коагулянта подбирается по условию проведения процесса контактной коагуляции на зернах неподвижной фильтрационной загрузки механических фильтров, что обеспечивает максимальное использование ее грязеемкости. Коагулированная вода направляется для дальнейшей обработки в последующие элементы технологической схемы. В ряде случаев лучший эффект коагуляционной обработки воды достигается при вводе коагулянта в точку трубопровода исходной воды, удаленную от механических фильтров. Схему прямоточной коагуляции целесообразно применять при недостаточно нагретой исходной воде, когда процесс гидролиза коагулянта замедлен и для формирования хорошо задерживаемых хлопьев требуется большее время. В качестве фильтрующей за-

грузки наиболее оптимально применение нескольких фильтрующих материалов, загруженных послойно, например гравия, кварцевого песка и гидроантрацита. Фильтры с послойной загрузкой при осветлении коагулированной в осветлителе воды обладают не только большей в 3–5 раз грязеемкостью, но и обеспечивают превосходное качество фильтра с содержанием взвешенных веществ не более 0,2 мг/дм³ и мутностью не более 0,2 NTU. Такая вода удовлетворяет по своему качеству требованиям, предъявляемым к воде, подаваемой как на фильтры ионного обмена, так и на установки обратного осмоса.

Преимущества схемы прямоточной коагуляции:

- компактность предочистки;
- менее жесткие требования к точности регулирования нагрева исходной воды;
- уменьшение затрат коагулянта по сравнению с коагуляцией в осветлителях.

Недостатки схемы:

- увеличенный расход воды на собственные нужды механических фильтров;
- увеличенное количество механических фильтров (или корпусов механических фильтров);
- необходимость использования бака и насосов взрыхляющей промывки механических фильтров;
- худшее, по сравнению с сочетанием коагуляции и механического фильтрования, качество осветленной воды, особенно с точки зрения задержания бактерий, полисахаридов и низкомолекулярных органических кислот;
- необходимость дополнительного оборудования при повторном использовании промывных вод;
- применимость прямоточной коагуляции при содержании взвешенных веществ в исходной воде не более 30 мг/дм³ (с учетом образующихся в процессе коагуляции). При больших концентрациях этих веществ увеличивается расход воды на собственные нужды механических фильтров и уменьшаются интервалы времени между их взрыхляющими (обратными) промывками.

Прямоточная коагуляция применима для очистки поверхностных вод с небольшой окисляемостью воды, не требующих известкования, и для очистки вод на ВПУ, имеющих малый коэффициент использования установленной производительности. В последнем случае оборудование ВПУ, в том числе осветлители, большую часть времени простаивает в резерве. Частые пуски осветлителей затрудняют их эксплуатацию.

Прямоточная коагуляция воды реализована, например, на Вологодской ТЭЦ в схеме подготовки воды для подпитки теплосети. Примером потенциальной рациональности применения прямоточной коагуляции является

Норильская ТЭЦ-2, использующая воду с малой окисляемостью, увеличивающейся заметно, как и ее кремнесодержание, лишь в паводок. Таким образом, устройство реагентного узла и небольшого склада коагулянта рекомендуется к применению на данной ТЭЦ. В отсутствие коагуляции на ней происходит нарушение требований ПТЭ к качеству питательной воды и паров на содержание кремния.

При реализации технологии прямоточной коагуляции на некоторых объектах применены фильтры DynaSand. Эти фильтры отличаются непрерывным режимом работы, и, соответственно, их общее количество может быть уменьшено, так как не требуется отключение на обратную промывку. По сравнению с традиционными напорными фильтрами, это является единственным преимуществом, причем имеют место следующие недостатки:

- безнапорный отвод фильтрата и стоков, что создает серьезные неудобства при проектировании высотной схемы установки;
- относительно большой расход воды на собственные нужды;
- более сложная конструкция и условия эксплуатации;
- более высокая стоимость.

Предварительная очистка воды на установках напорной флотации. Процесс напорной флотации заключается в создании в камере, в которой осуществляется разделение твердой и жидкой фаз (камера флотации), условий для выделения из жидкости микропузырьков воздуха, которые, поднимаясь, увлекают за собой хлопья взвеси и скоагулированные загрязнения. При реализации технологии флотации исходную воду обычно обрабатывают коагулянтном и флокулянтном. При температуре обрабатываемой воды более 20 °С ввод коагулянта можно осуществлять в подающий трубопровод, однако при меньших температурах целесообразна установка дополнительных камер коагуляции. Ввод флокулянта всегда осуществляется непосредственно перед камерой флотации. Для создания микропузырьков воздуха осуществляется циркуляция воды через сатуратор в количестве примерно от 20 до 25 % от проектной производительности флотатора. Циркуляционная вода подается повысительным насосом при давлении 6 кгс/см² в сатуратор, куда осуществляется подача воздуха с тем же давлением. После насыщения воздухом вода через редукционный клапан попадает в распределительную систему флотатора, на выходе из которой происходит интенсивное выделение микропузырьков.

Некоторые западные производители водоподготовительного оборудования устраивают в нижней части камеры флотации безнапорный механический фильтр. Такие устройства называют флотофильтрами. В отечественной энергетике флотаторы нашли свое приме-

нение при очистке вод северо-западного региона России, например на Северо-Западной ТЭЦ ТГК-1, а флотофильтры – на Киришской ГРЭС ОГК-6.

Системы флотации отличаются малыми габаритами и стабильно высоким качеством обработки маломутных вод с высокой цветностью. Флотаторы могут быть хорошей альтернативой осветлителям в условиях образования лёгкого и рыхлого шлама, характеризующегося низкой гидравлической крупностью. Флотошлам отличается относительно низкой влажностью и легко поддается дальнейшему обезвоживанию. Вода, полученная в результате процесса флотации, обычно отличается мутностью менее 1 NTU и массовой концентрацией взвешенных веществ менее 5 мг/дм³. При использовании флотофильтров очищенная вода имеет лучшее качество: ее мутность и концентрация взвешенных веществ не более 0,2 NTU и 0,2 мг/дм³ соответственно.

К недостаткам флотаторов можно отнести большое удельное потребление электроэнергии, увеличивающееся при эксплуатации флотатора на нагрузках меньше проектных. Флотаторы имеют более сложную конструкцию и более высокую стоимость по сравнению с современными западными осветлителями. При проектировании систем флотации следует принимать во внимание небольшую высоту современных флотаторов и учитывать это при проработке высотного расположения оборудования ВПУ.

Системы фильтрации с использованием сетчатых, дисковых и кассетных фильтров. Блочное-модульное фильтрационное оборудование, подкупая своей простотой, автоматической работой, малыми размерами, не сравнимыми с размерами другого оборудования предочистки, и декларируемым малым потреблением воды на собственные нужды, буквально ворвалось в отечественную водоподготовку. В отечественной энергетике сетчатые и дисковые фильтры нашли свое применение в качестве первой ступени фильтрации перед установками ультрафильтрации, хотя замечены упорные попытки внедрения этих систем в качестве полноценных ступеней водоподготовки, например, перед ионным обменом или обратным осмосом. Отмечены даже попытки совмещения этих фильтрационных систем с прямоточной коагуляцией, разумеется безуспешные.

Особого внимания заслуживают кассетные фильтры, производимые израильской компанией Amiad, появившиеся на рынке совсем недавно. Как и предыдущие разработки этой компании, фильтры подкупают оригинальностью конструкции, своей большой производительностью при малых габаритах. Промывка фильтров осуществляется полностью автоматически и подробно представлена в ви-

де компьютерной анимации на интернет-сайте компании. Стандартный удельный расход воды на собственные нужды при диаметрах задерживаемых частиц от 2 до 20 мкм, по данным компании Amiad, составляет 1 %. Очевидно, что такой результат достигнут при фильтрации чистой воды. В ходе испытаний на московской воде результаты оказались худшими: фильтры забивались в течение нескольких минут, а процесс их отмывки по длительности превышал сам фильтроцикл. Тем не менее некоторые инженеринговые компании уже ввели эту технологию в свой арсенал и предлагают ее в качестве альтернативы ультрафильтрации, гарантируя при этом не менее высокое качество фильтрата.

Общим недостатком приведенных выше систем является то, что они предназначены, прежде всего, для фильтрации «чистой» воды и задержания при этом грубодисперсных загрязнений определенного фракционного состава. Основная масса поверхностных водоемов имеет воду, не пригодную для обработки на этих фильтрах как на единственной ступени фильтрации. Кроме того, сама конструкция фильтров делает невозможным предварительную реагентную обработку воды. Сетчатые фильтры склонны к забиванию водорослями и шламом, и для восстановления их работоспособности требуется их разборка и, как правило, ручная чистка фильтрующих элементов, зачастую приводящая к простоям всей ВПУ. Хочется надеяться, что неоправданное применение сетчатых фильтров в качестве предварительной ступени перед установками ультрафильтрации останется в прошлом. Дисковые фильтры с максимальным диаметром задерживаемых частиц 200 мкм в настоящее время являются неписанным «стандартом» для защиты установок ультрафильтрации на ВПУ энергетических объектов. Они обеспечивают качественную очистку воды от грубодисперсных загрязнений с широким спектром диаметров частиц и стабильную работу при малом потреблении воды на собственные нужды. При ухудшении качества исходной воды, например, в паводок удельный расход воды на их собственные нужды увеличивается до 5 %.

Длительный опыт применения кассетных фильтров в производственных масштабах пока не накоплен.

Предварительная очистка воды путем ее коагуляции в осветлителе с микропеском (ОМП). Исходная вода, нагретая до температуры в диапазоне от 20 до 25 °С, поступает в осветлитель со взвешенным в вихревом слое микропеском.

ОМП допускает быстрое изменение гидравлической нагрузки и не требует точного регулирования температуры исходной воды. Технологическая эффективность осветлителя высока, затраты коагулянта для ОМП меньше,

чем для типового осветлителя со взвешенным слоем шлама. Затраты микропеска обычно не превышают 3 г/м^3 обработанной воды. При производительности установки $500 \text{ м}^3/\text{ч}$ (или 4000000 м^3 в год) годовое потребление микропеска составляет всего 12 тонн. При поставке импортного песка годовые затраты на его досыпку составят, таким образом, 250–300 тыс. руб.

Недостатками ОМП являются его потребность в микропеске и необходимость использования шламовых насосов специального противозрозийного исполнения. Ориентировочный срок службы футерованных насосов с большим зазором между рабочим колесом и корпусом насоса составляет 5 лет. Это же касается и гидроциклона, сделанного из полиуретана. ОМП нашли применение на зарубежных ВПУ. Один из них прошел успешные испытания в России.

Из изложенного выше следует, что с учетом накопленного производственного опыта в настоящее время наиболее предпочтительны комбинированные технологические схемы с применением осветлителей на стадии предочистки исходной воды.

При внедрении на ТЭС осветлителей старого поколения не всегда в достаточной степени принимали во внимание качество исходной воды. Допустимые ступенчатые возмущения при переходных процессах, например, при увеличении гидравлической нагрузки осветлителей с взвешенным шламом являются, как и скорости этих процессов, малыми, а их длительность – большой. Осветлители в России снискали себе славу громоздких, трудоемких в наладке и сложных в эксплуатации аппаратов. Их существенный недостаток заключается в значительном отличии в меньшую сторону располагаемой производительности от так называемой номинальной производительности. Таким образом, важнейшими целями совершенствования технологических процессов и конструкций осветлителей являются: увеличение их располагаемой производительности; ускорение переходных процессов при сохранении высокого качества обработанной воды. Для достижения этих целей могут быть использованы технологические и конструктивные решения.

Известным технологическим решением, успешным, но не радикальным, является использование флокулянтов [1]. При коагуляции с образованием тонкого шлама за счет применения подходящего флокулянта удается значительно укрупнить этот шлам и увеличить располагаемую производительность осветлителя. Стоимость обработанной воды при этом незначительно увеличивается. Конструктивные решения как способ увеличения располагаемой производительности и маневренности осветлителей могут оказаться более эффективными. Примером служит разработанный ВТИ способ

реконструкции типовых осветлителей (см. рисунок) в соответствии с ТУ ВТИ 37.001-2006.

Еще одним способом интенсификации работы отечественных осветлителей является рециркуляция активного шлама. Компания «Гидроникс» разработала и успешно внедрила на Уренгойской ГРЭС осветлитель со встроенной рециркуляцией шлама ОРАШ. Осветлитель разработан на базе осветлителя ВТИ, а рециркуляция шлама осуществляется при помощи гидроэлеватора. При реконструкции обычных осветлителей шлам на рециркуляцию целесообразно отбирать из верхней шламовой зоны шламоуплотнителя и возвращать в трубопровод после воздухоотделителя при помощи циркуляционных мембранных или шнековых насосов. За счет возврата активного шлама повышается средняя концентрация взвешенных веществ в осветлителе, что создает лучшие условия для хлопьеобразования. Кроме того, активный шлам еще содержит долю активных химических реагентов, что также позитивно сказывается на процессе коагуляции.

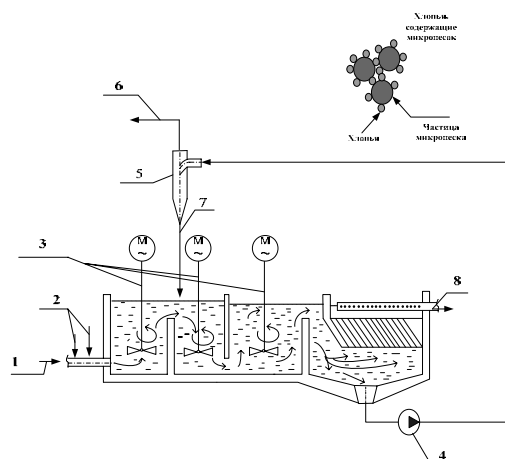
При реконструкции осветлителей целесообразна установка тонкослойных сепарационных модулей – ламель, что ведет к улучшению качества коагулированной воды и в определенных пределах позволяет предотвратить вынос шлама при повышенных скоростях, т. е. увеличить располагаемую производительность осветлителей.

Реконструируемые осветлители создаются на основе корпусов прототипов, адаптированы к применяемым технологиям обработки воды, оборудованы так же, как все современные осветлители и отстойники, пластиковым сепарационным устройством, допускают увеличение единичной производительности до 30 %. Воздухоотделитель таких осветлителей имеет большую площадь раздела фаз «вода – воздух». Осветлители с автоматизацией дозирования реагентов внедрены на Первомайской ТЭЦ ТГК-4 и Ачинском НПЗ и др.

При вводе в работу реконструированных осветлителей возможны затруднения, возникающие, если на стадии конструкторской разработки не учтены особенности состава примесей исходной воды и свойства применяемых реагентов. Например, следует считаться с выделением свободной углекислоты при повышенной дозе коагулянта, с наличием в воде ингибиторов образования твердой фазы, поверхностно-активных веществ. При дозе сульфата алюминия $0,8 \text{ мг-экв/дм}^3$ из 1 м^3 природной воды, содержащей гидрокарбонаты, теоретически может выделиться около 18 дм^3 свободной угольной кислоты (CO_2). Это, с учетом ее содержания в исходной воде, как правило, превышает растворимость данного газа в воде, обработанной коагулянтом, и приводит к образованию микропузырьков газа и флотации шлама. Флотация легкого шлама при газо-

выделении из воды очень вероятно: свойствами флотореагентов обладают не только техногенные поверхностно активные вещества, но и природные (гуминовые и фульвокислоты). Предотвратить флотацию можно, вводя коагулянт в воду до воздухоотделителя и утяжеляя шлам. Наши измерения показывают, что эффективный воздухоотделитель удаляет из воды от 50 до 75 % свободной углекислоты. Часть ее микропузырьков прилипает к шламу и отводится с ним через шламоуплотнитель.

Для повышения эффективности коагуляции и уменьшения затрат на водоподготовку полезно обратить внимание на использование комбинированных коагулянтов (минеральных совместно с органическими, что способствует уменьшению ионной нагрузки анионитов, иногда позволяет исключить подщелачивание или уменьшить дозу щелочи) и зернистых присадок к воде. Перспективность первого подтверждена опытами на воде р. Шексны применительно к водоподготовке ТЭЦ ОАО «Северсталь», но требует тщательной экспериментальной и технико-экономической проработки. В отношении зернистых присадок известно, что при коагуляционной обработке воды они одновременно способствуют контактной коагуляции и сепарации образующегося шлама. Лабораторные опыты с такими присадками проводились в 70-е годы прошлого века. Например, Б. М. Ларин с сотрудниками (ИЭИ) использовал порошки перлита различного фракционного состава [2] и получал хорошие результаты коагуляции. Наряду с перлитом дешевой присадкой является измельченный фракционированный кварцевый песок. Таким образом, более радикальным решением является применение осветлителей, имеющих как конструктивные, так и технологические отличия от применяемых в российской энергетике осветлителей. Такие отличия имеет, например, осветлитель для коагуляции с микропеском, взвешенным в вихревом слое. Микропесок обеспечивает проведение интенсивной контактной коагуляции и быстрое осаждение ее продуктов. ОМП допускает быстрое изменение его гидравлической нагрузки и не требует точного регулирования температуры исходной воды.



Конструктивная схема осветлителя с микропеском: 1 – вход исходной воды; 2 – ввод реагентов; 3 – мешалки с электроприводом; 4 – шламовый насос (насос циркуляции); 5 – гидроциклон; 6 – вывод шлама; 7 – возврат микропеска; 8 – отвод коагулированной воды

Габариты ОМП значительно меньше, чем габариты осветлителя с зоной взвешенного шлама. Технологическая эффективность ОМП высока, затраты коагулянта для него и, следовательно, ионная нагрузка на анионитные фильтры при последующем обессоливании осветленной воды меньше, чем для типового осветлителя со взвешенным слоем шлама. Кварцевый песок легко подвергается измельчению и в достаточной степени стоек к истиранию в вихревом слое. Сопутствующее этим затратам увеличение массы образующегося осадка может быть компенсировано меньшим шламообразованием вследствие уменьшения рабочей дозы коагулянта.

ОМП нашли применение на зарубежных водоподготовительных установках. Один из них прошел успешные испытания при коагуляционной обработке воды р. Шексна (окисляемость от 13 до 17 мгО₂/дм³, щелочность около 1,7 мг/дм³, средние значения массовых концентраций соединений железа в пересчете на Fe и реакционноспособных соединений кремниевой кислоты в пересчете на SiO₂⁻³ составляют соответственно 0,7 и 2,4 мг/дм³). При этом установлено следующее:

- производительность осветлителя практически не влияет на эффективность очистки воды; процесс осветления успешно проходил при скорости восходящего потока воды 85 м/ч.

- мутность коагулированной воды и массовая концентрация в ней взвешенных веществ меньше 1 мг/дм³. Это позволяет надеяться на малый расход воды на собственные нужды механических фильтров, устанавливаемых после осветлителя, и допустить их эксплуатацию с повышенными скоростями фильтрования, в том числе, перед противоточными ионитными фильтрами;

- массовая концентрация соединений кремниевой кислоты в коагулированной воде меньше, чем в исходной воде. Это означает,

что, несмотря на частичный переход этих соединений в воду при ее контакте с вихревым слоем кварцевого песка, преобладает не загрязнение воды такими соединениями, а их переход в шлам;

- при предочистке воды р. Шексна коагуляцией для ее обессоливания противоточными ионитными фильтрами или мембранными установками необходимые условия создаются при дозе (массовой концентрации в воде) сульфата алюминия в пересчете на Al^{3+} около 7 мг/дм^3 ($0,78 \text{ мг-экв/дм}^3$). При этой дозе данного коагулянта массовая концентрация соединений железа в коагулированной воде в пересчете на Fe не более $0,1 \text{ мг/дм}^3$, а массовая концентрация соединений алюминия в пересчете на Al практически равна или менее $0,1 \text{ мг/дм}^3$. Окисляемость коагулированной воды в данных условиях в пределах погрешности химического анализа не отличается от $3 \text{ мг } O_2 / \text{дм}^3$. Таким образом, коагулированная вода соответствует основным требованиям к качеству исходной воды обессоливающих установок.

Опыты со ступенчатым увеличением относительной производительности осветлителя показали сохранение в переходном процессе ее высокого качества.

Отечественный оригинальный вариант ОМП разработан ЗАО «НПК Медиана-Фильтр» и в настоящий период времени проходит испытания.

Виноградов Владимир Николаевич,
ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
кандидат технических наук, доцент кафедры химии и химических технологий в энергетике,
e-mail: admin@xxte.ispu.ru

Жадан Александр Владимирович,
ЗАО «НПК медиана-фильтр»,
первый заместитель генерального директора,
адрес: г. Москва, ул. Авиамоторная, д. 176, стр. 3,
телефон (495) 660-07-71,
e-mail: a.jadan@mail.ru

Смирнов Борис Анатольевич,
ОАО «ВТИ»,
старший научный сотрудник,
адрес: г. Москва, ул. Автозаводская, д. 14/23, ОВХП
телефон (495) 671-86-74,
e-mail: smirnov.vti@mail.ru

Смирнов Олег Валерьевич,
ОАО «Северсталь», ТЭЦ-ЭВС-2,
начальник химического отделения,
телефон (8202) 565-50-64,
e-mail: ovsmirnov@severstal.com

Аван Васим Кайсир
ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
аспирант кафедры химии и химических технологий в энергетике,
e-mail: waseem@mail.ru

Карпычев Евгений Александрович,
ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
инженер кафедры химии и химических технологий в энергетике,
e-mail: admin@xxte.ispu.ru

Заключение

Производственный опыт показывает, что в настоящее время с технико-экономической точки зрения предпочтительна предварительная очистка воды с использованием осветлителей.

Для увеличения производительности и технологической эффективности существующих осветлителей может быть рекомендована их реконструкция по ТУ ВТИ 37.001-2006 и использование флокулянтов. Технические решения по реконструкции осветлителя конкретизируются с учетом состава примесей воды и применяемых реагентов. Это, в частности, позволяет учесть кинетические характеристики химических реакций и осветлителя.

Осветлитель со взвешенным в вихревом слое кварцевым микропеском, имеющий малые габариты, является перспективным аппаратом предварительной очистки воды.

Список литературы

1. Драгинский В.Л., Алексеева Л.П., Гетманцев С.В. Коагуляция в технологии очистки природных вод. – М., 2005.
2. Виноградов В.Н., Смирнов Б.А., Жадан А.В., Аван В.К. Повышение эффективности осветлителей для коагуляционной обработки воды // Теплоэнергетика. – 2010. – № 8. – С. 14–16.