

УДК 621.187.11

Практическая реализация противоточной технологии ионного обмена

А.В. Жадан¹, Е.Н. Бушуев²

¹ЗАО «НПК Медиана-Фильтр», Москва, Российская Федерация

²ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,

Иваново, Российская Федерация

E-mail: admin@xxte.ispu.ru

Авторское резюме

Состояние вопроса: В настоящее время существует проблема выбора одной из технологий организации противоточного ионирования, каждая из которых имеет свои преимущества и недостатки применительно к конкретным условиям. Необходимы анализ наиболее распространенных технологий противоточного ионного обмена и рекомендации по их применению.

Материалы и методы: Использованы результаты эксплуатации новых водоподготовительных установок на ряде отечественных и зарубежных ТЭС. В лабораторных условиях проведены исследования противоточной технологии Schwebbett. Обработка результатов осуществлялась с применением методов математической статистики с использованием регрессионного анализа.

Результаты: Проведен анализ двух наиболее распространенных технологий противоточного ионного обмена, даны рекомендации по устранению или минимизации влияния их основных недостатков, а также рекомендации по областям применения этих технологий для обработки природных вод на ТЭС. Для катионита марки MonoPlus S100 приведена зависимость минимальной скорости восходящего потока воды от температуры.

Выводы: Установлено, что при выборе противоточной технологии регенерации необходимо сравнивать и учитывать целый ряд показателей, к важнейшим из которых относятся производительность установки и качество исходной воды. При строительстве систем с производительностью, изменяющейся в широком диапазоне, систем с большим резервом производительности, а также систем с большим количеством работающих технологических цепочек предпочтение стоит отдавать технологиям, близким к UPCORE. Эти технологии выглядят более предпочтительными и при реконструкции существующих прямоточных ионообменных установок или при строительстве новых систем с низким уровнем автоматизации. Технологии, близкие к Schwebbett, хорошо зарекомендовали себя на установках небольшой производительности и могут оказаться более экономичными при обессоливании вод с низким солесодержанием.

Ключевые слова: тепловые электрические станции, водоподготовка, ионный обмен, противоточное ионирование воды, технологическое совершенствование.

Practical Implementation of Countercurrent Technology of Ionic Exchange

A.V. Zhadan¹, E.N. Bushuev²

¹ Closed Joint Stock Company «Mediana-filter», Moscow, Russian Federation

² Ivanovo State Power Engineering University, Ivanovo, Russian Federation

E-mail: admin@xxte.ispu.ru

Abstract

Background: At the present time there is a problem to choose one of the ionic exchange organization technologies which have their own advantages and disadvantages with respect to the special conditions. There is a necessity to analyze the most widely spread technologies of countercurrent ionic exchange and to give recommendations to their implementation.

Materials and methods: The operation results from new water treatment facilities on some domestic and international CHPP have been used. The research of counter-current technology Schwebbett has been done under laboratory conditions. The results have been treated by methods of mathematical statistics using regressive analysis.

Results: Two of the most widely spread counter-current ionic exchange technologies have been analyzed, recommendations for mitigation and elimination of their main disadvantages have been given. Recommendations to application area of these technologies for treatment of natural source water on CHPP have been given. The dependency of the minimum upstream velocity from the temperature of the water has been shown for the cation exchange resin MonoPlus S100.

Conclusions: It is proved that while choosing the counter-current ionic exchange technology it is necessary to consider several parameters, the most important of them are the capacity of the water treatment facility and the quality of water to be treated. For systems with broadly changing capacity, for systems with big surplus capacity as well as for systems with big amount of duty technological lines the preference shall be given to the technologies similar to UPCORE. Such technologies are more preferable by refurbishment of the existing co-current ion exchange systems as well as for systems with low level of automation. The similar to Schwebbett technologies have been proven well on water treatment plant with low capacity, they can also be more economically efficient while demineralizing of water with low salinity.

Key words: thermal electrical plants, water treatment, ionic exchange, countercurrent ionization of water, technological improvement.

Классической технологией полной или частичной деминерализации воды на ТЭС является ионный обмен на базе прямотока. Эта технология обладает следующими основными положительными качествами: возможностью изменения производительности в широком диапазоне значений; свободным чередованием технологических остановов с возобновлением фильтрования; надежностью в получении очищенной воды и контроля истощения ионита. Главными недостатками прямотока являются невысокое качество фильтрата и большой расход реагентов на регенерацию, причем основная часть их идет в сток.

Применение в схемах ионообменного обессоливания и умягчения воды противотока – один из основных путей совершенствования технологии химического обессоливания. Противоточная технология регенерации позволяет интенсифицировать работу оборудования, повысить эффективность использования ионитов, сократить число ступеней обработки, а следовательно, и количество оборудования; снизить расход реагентов на регенерацию, уменьшить расход воды на собственные нужды [1].

В научно-технической литературе, на семинарах и конференциях часто возникают дискуссии о преимуществах различных технологий противоточной регенерации по сравнению друг с другом. Как правило, каждая из сторон, участвующих в обсуждении, стремится доказать, что оптимальной является именно та технология, которая была разработана, реализована или применяется данной стороной. Отдельные публикации, содержащие сравнительный анализ различных технологий, хотя и являются достаточно объективными, но либо касаются частных случаев для конкретных условий эксплуатации [2], либо ограничиваются констатацией самых общих положений [3–6].

Согласно оценкам зарубежных аналитиков, по всему миру эксплуатируются более пяти тысяч установок водоподготовки, работающих по противоточной технологии ионного обмена. Около четырех тысяч установок работают по технологии Schwebbett [7], около семисот – по технологии UPCORE [8] и порядка шестисот приходится на долю всех остальных противоточных технологий вместе взятых. Ниже предлагается анализ слабых сторон двух наиболее распространенных технологий противоточного ионного обмена, даны рекомендации по устранению или минимизации влияния их недостатков, а также рекомендации по областям применения этих технологий.

Одним из основных недостатков технологии Schwebbett является ее нестабильная работа в условиях часто изменяющегося расхода воды или в условиях частых остановов. Ионит, находящийся во взвешенном состоянии, нуждается в постоянном восходящем потоке воды, удерживающим ее в зажатом состоянии и предотвращающим смешение слоев смолы и разрушение зоны с высокой степенью

регенерации, являющейся основным преимуществом всех противоточных ионообменных технологий. Восходящий поток должен обеспечивать необходимую скорость движения воды в фильтре, которая зависит от плотности ионита и температуры обрабатываемой воды. При температуре воды 20 °С, из опыта эксплуатации, эта скорость составляет 10–15 м/ч для катионитов и 8–12 м/ч для анионитов.

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 противоточные фильтры. Одним из основных способов решения этой проблемы является рециркуляция части потока фильтрата после анионитного фильтра в начало обессоливающей установки. В зависимости от конфигурации системы, такую рециркуляцию с минимальными капитальными затратами можно осуществить следующими способами.

При наличии бака осветленной воды, из которого осуществляется подача на ионообменную установку, самым простым решением является возврат части потока воды, обеспечивающего минимальную необходимую скорость потока в фильтре. Трубопровод возвратной воды необходимо оборудовать электронным расходомером (рис. 1,а), а при разработке АСУТП необходимо учесть зафиксированный расход возвращенной воды от общего расхода воды, обработанного за фильтрцикл. Таким образом, удастся избежать перерасхода реагентов, вызванного преждевременной регенерацией по количеству обработанной воды.

При отсутствии бака осветленной воды, что в современных установках далеко не редкость, циркуляцию следует осуществлять при помощи насосов декарбонизированной воды (рис. 1,б). Как и в предыдущем случае, часть обрабатываемой воды возвращается по линии 9 для поддержания минимальной скорости восходящего потока. Для отмывки цепочки ионитовых фильтров в замкнутом контуре декарбонизатор следует оборудовать второй байпасной линией 10. По той же линии возможна рециркуляция потока воды в цепочке при кратковременном прекращении подачи воды потребителю, при этом исключается насыщение обессоленной воды свободной углекислотой в декарбонизаторе и, как следствие, преждевременное истощение ионообменной способности анионитового фильтра. Наличие двух байпасных линий позволяет сократить расход воды на регенерацию до минимума, необходимого для разбавления раствора реагентов с товарной концентрации до рабочей и вытеснения отработанного раствора реагента из ионита.

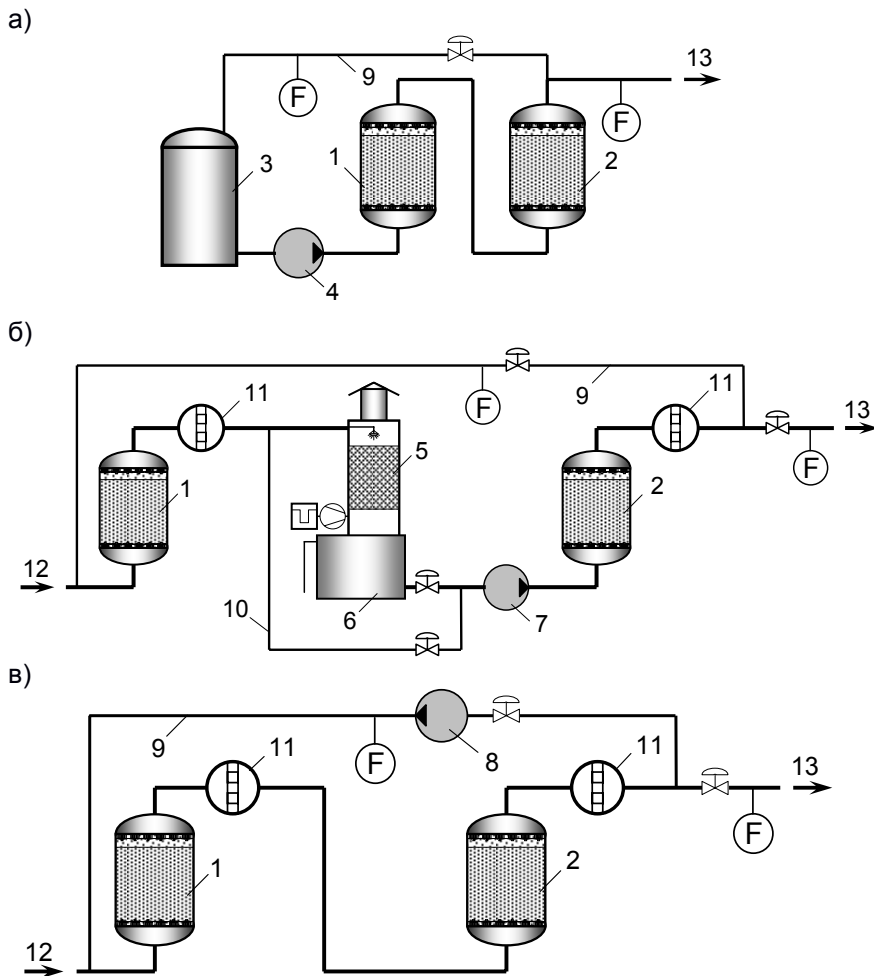


Рис. 1. Принципиальные схемы технологии Schwebebett с рециркуляцией части обессоленной воды: а – при использовании бака и насоса осветленной воды; б – при использовании бака декарбонизированной воды; в – при отсутствии баков и насосов в схеме; 1 – противоточный Н-катионированный фильтр; 2 – противоточный ОН-анионитный фильтр; 3 – бак осветленной воды; 4 – насос осветленной воды; 5 – декарбонизатор; 6 – бак декарбонизированной воды; 7 – насос декарбонизированной воды; 8 – насос рециркуляции; 9 – линия рециркуляции воды; 10 – байпасная линия; 11 – ловушка ионов; 12 – осветленная вода; 13 – обессоленная вода

Лишь при отсутствии как бака обработанной воды, так и декарбонизатора возникает необходимость в установке дополнительных циркуляционных насосов (рис. 1, в). Как и в предыдущем случае, эти насосы используются для отмывки цепочек по замкнутому контуру для сокращения потребления воды на собственные нужды. Таким образом, включение насосов в работу происходит не только при расходах, недостаточных для поддержания загрузки в зажатом состоянии, но и при осуществлении некоторых этапов регенерации.

Другим возможным вариантом обеспечения гарантированного минимума производительности ВПУ является установка, основанная на двух принципиально разных технологиях обессоливания: противоточном ионном обмене и обратном осмосе (рис. 2). Такое решение, усложняя эксплуатацию, повышает эксплуатационную надежность, ресурсо- и энергосбережение.

Нами были проведены испытания на пилотной установке (рис. 3), на которой реализована технология Schwebebett. Цель исследований состояла в определении для катионита марки MonoPlus S100 зависимости минимальной скорости восходящего потока воды от температуры. Полученная зависимость представлена на рис. 4. Пилотная установка, на которой проводились испытания, представляет собой прозрачный цилиндрический корпус с внутренним диаметром 200 мм и высотой 1200 мм, расположенный вертикально. В нижней части корпуса расположено сборно-распределительное устройство в виде щелевого колпачка с размером щелей 0,2 мм. Оно соединено с обвязкой фильтра пластиковой восходящей трубкой диаметром 20 мм. Через нижнее распределительное устройство осуществляется подача подготовленной фильтрованной воды и отвод отработанного регенерационного раствора. В верхней части корпуса размещено второе распределительное устройство, идентичное первому. Высота слоя загрузки ионообменным материалом марки MonoPlus S100 – 1500 мм, объем – 30 л. Верхняя часть корпуса установки заполнена инертным материалом – гранулированным полиэтиленом, который защищает верхнее распределительное устройство. Производительность установки – 1 м³/ч. Точность измерения используемых при проведении испытаний приборов – 3 %.

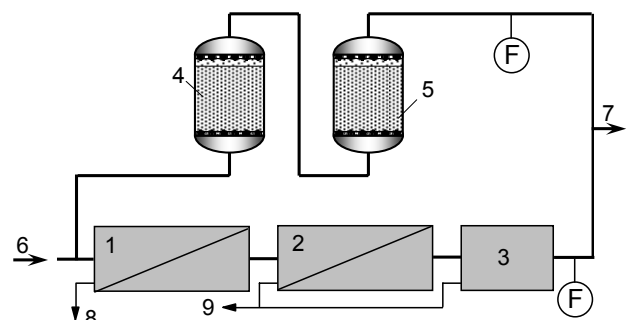


Рис. 2. Комбинированная схема обессоливания воды: 1, 2 – установка обратного осмоса I и II степени соответственно; 3 – установка элетродионизации; 4 – противоточный Н-катионированный фильтр; 5 – противоточный ОН-анионитный фильтр; 6 – осветленная вода; 7 – обессоленная вода



Рис. 3. Внешний вид лабораторной установки

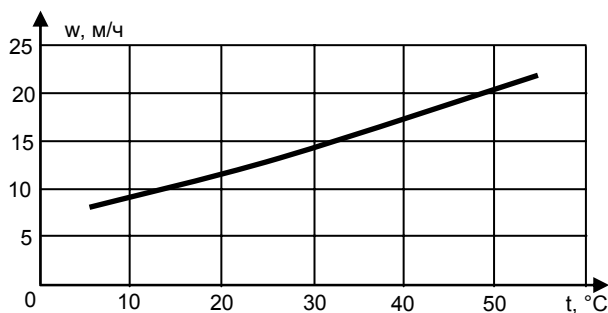


Рис. 4. Зависимость минимально необходимой скорости восходящего потока воды для поджатия слоя катионита от температуры

Представленную на рис. 4 зависимость можно описать приближенной формулой:

$$w_{\min} = \frac{1}{0,0000271t^2 - 0,003511t + 0,15979}, \quad (1)$$

где w_{\min} – минимальная скорость восходящего потока, м/ч; t – температура воды, °С.

Преобразовав (1) и отнеся потребление электроэнергии к объемному расходу через фильтр, выраженному как произведение площади фильтра S на номинальную скорость фильтрации w , получим зависимость удельного потребления электроэнергии на 1 м³ обработанной воды (ρ_Q , кВт·ч/м³) от температуры:

$$\rho_Q = \frac{H}{w(0,0079566t^2 - 1,00308296t + 46,914344)}, \quad (2)$$

где H – высота подъема воды циркуляционным насосом, определяемая как сумма потерь напора в контуре рециркуляции при номинальной производительности, м.

На рис. 5 показаны зависимости потребления электроэнергии на собственные нужды

установки Schwebbett от температуры и рабочей скорости фильтрации w , рассчитанные при высоте подъема циркуляционного насоса 20 м. Анализ полученных зависимостей (рис. 5) показывает, что реализация технологии Schwebbett осложняется с увеличением температуры обрабатываемой воды и снижением скорости фильтрования. Одновременно с этим наблюдается увеличение удельных затрат электроэнергии.

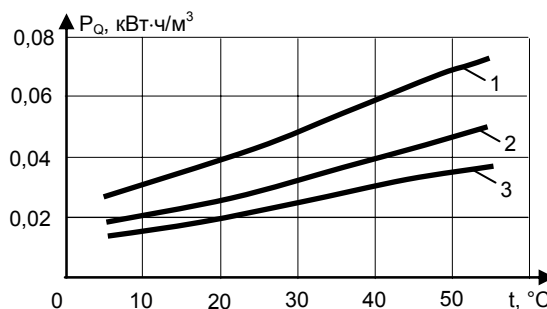


Рис. 5. Зависимость удельного потребления электроэнергии на собственные нужды установки противоточного ионирования от температуры и скорости фильтрации воды: 1 – $w=20$ м/ч; 2 – $w=30$ м/ч; 3 – $w=40$ м/ч

Еще одним недостатком технологии с восходящим рабочим потоком является более быстрое ухудшение качества обессоленной воды, связанное с перекрестным загрязнением смол ионитной мелочью смолы другого типа. Практика показывает, что эту проблему можно решить, используя ловушки ионита с рейтингом фильтрации не более 100 мкм. Такое решение, как правило, не приводит к удорожанию установки, но значительно повышает ее надежность. Необходимо лишь помнить, что введение трубопроводов рециркуляции отмывочных вод и возврата части потока для поддержания взвешенного слоя обеспечивает прохождение потока воды через ловушку ионита при всех технологических операциях, как это показано на рис. 1,б,в.

Противники технологии UPCORE аргументируют свою позицию, в основном, большим расходом воды на собственные нужды и необходимостью увеличения диаметров трубопроводов подачи воды на зажатие ионита и отвода регенерационных стоков. Выбор насосов собственных нужд на максимальный расход при зажатии слоя загрузки приводит к увеличению капитальных затрат на насосную станцию и эксплуатационных расходов за счет увеличения потребления электроэнергии. Такое увеличение расхода электроэнергии становится весьма заметным при наличии нескольких рабочих линий с коротким фильтроциклом.

Эффективное решение проблемы высоких капитальных затрат на трубопроводы и насосы собственных нужд возможно при реализации коллекторной схемы установки. При этом для сокращения расхода отмывочных вод

катионитный и анионитный фильтры оборудуются байпасной линией в обход коллектора, позволяющей проводить отмывку в замкнутом контуре. Вода для зажатия слоя подается из коллектора подготовленной воды в обход ловушек смолы (рис. 6). То есть подача воды на зажатие, по существу, осуществляется насосами осветленной воды для катионитных фильтров и насосами декарбонизированной воды для анионитных. Такое решение позволяет эффективно избавиться от «лишних» трубопроводов и сократить расчетный расход насосной станции собственных нужд. Потребление воды на собственные нужды на зажатие и пропуск регенерационного раствора, как и в случае технологии Schwebbett, зависит от температуры и диаметра фильтра.

Для сокращения общего расхода воды на собственные нужды (настоящее решение с успехом может и должно быть реализовано для любой ионообменной установки) целесообразно возвращать сточные воды, образующиеся в результате зажатия, на повторное использование, подавая их в осветлитель или в коллектор перед механическими фильтрами. Для дальнейшего сокращения потребления воды на собственные нужды трубопровод напорных дренажей оборудуется кондуктометром (или другим подходящим прибором) и необходимой арматурой, позволяющей отводить условно чистые регенерационные стоки на повторное использование. Помимо общего сокращения расхода воды на собственные нужды, такое решение позволит сократить и капитальные затраты, путем уменьшения объема бака для нейтрализации. Настоящее решение с успехом было реализовано и применяется на установке водоподготовки ТЭЦ-11 ОАО «Иркутскэнерго» в Усолье-Сибирском.

Отождествление противоточных ионообменных фильтров, работающих с нисходящим рабочим потоком с использованием послойной загрузки, с самой технологией UPCORE ошибочно [12], поскольку послойная загрузка является лишь дополнительным преимуществом противоточной технологии с нисходящим рабочим потоком, но никак ни абсолютным условием реализации технологии UPCORE. Поэтому для действительно объективного сравнения двух технологий необходимо сравнивать фильтры одинаковой конструкции, то есть двухкамерные фильтры Schwebbett с двухкамерными фильтрами UPCORE. К большому сожалению, некоторые производители ионообменных смол умышленно забывают об этом и получают крайне искажённые результаты сравнения, показывающие неоправданное увеличение диаметров фильтров и «катастрофический» расход воды на собственные нужды.

При выборе технологии регенерации необходимо сравнивать и учитывать целый ряд показателей, к важнейшим из которых относятся производительность установки и качество исходной воды [9–13]. При строительстве систем с производительностью, изменяющейся в широком диапазоне, систем с большим резервом производительности, а также систем с большим количеством работающих технологических линий (цепочек) предпочтение, с нашей точки зрения, стоит отдавать технологиям, близким к UPCORE. Эти технологии выглядят более предпочтительными и при реконструкции существующих прямоточных ионообменных установок или при строительстве новых систем с низким уровнем автоматизации. Относительно высокая стоимость электроэнергии также может выступать аргументом против внедрения технологии Schwebbett.

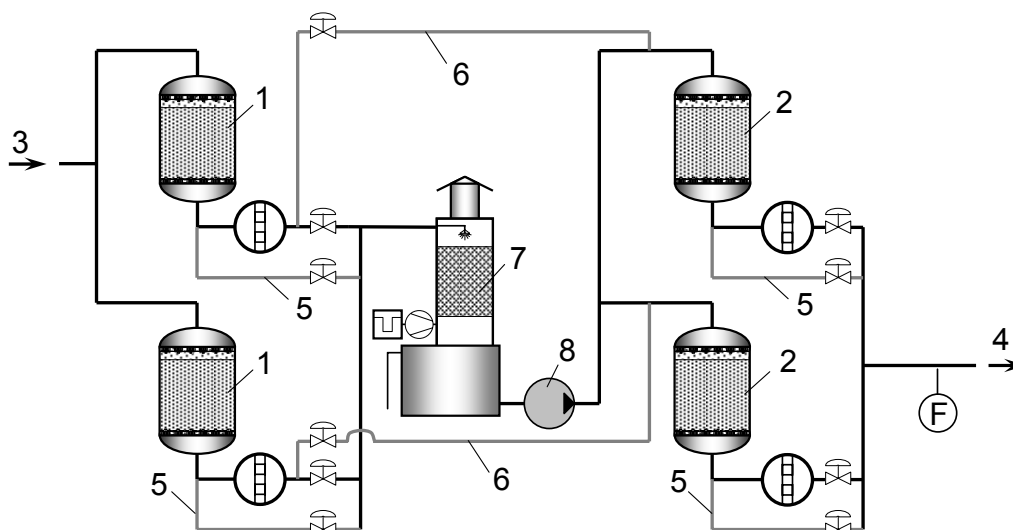


Рис. 6. Принципиальная схема технологии UPCORE с байпасными линиями: 1 – противоточный Н-катионированный фильтр; 2 – противоточный ОН-анионитный фильтр; 3 – осветленная вода; 4 – обессоленная вода; 5 – линия подачи воды на зажатие слоя ионита; 6 – линия циркуляционной отмывки; 7 – декарбонизатор; 8 – бак декарбонизированной воды

Технологии, близкие к Schwebbett, хорошо зарекомендовали себя на небольших установках (большинство зарубежных установок) с одной работающей и одной резервной цепочками. Технология Schwebbett может оказаться более экономичной и с точки зрения капитальных затрат при обессоливании вод с низким содержанием. Так, на Ангарской ТЭЦ-2 внедрение технологии UPCORE привело бы к увеличению объема засыпки катионита на 50 % (по сравнению с объемом смолы, достаточным для технологии Schwebbett в целях достижения минимального времени контакта 15 мин и при условии соблюдения концентрации рабочего раствора соляной кислоты не менее 4,5 %), а следовательно, и к соответствующему увеличению затрат на строительство.

Для успешной реализации проекта с внедрением противоточных ионообменных систем недостаточно правильного выбора технологии и понимания ионообменных процессов. Необходимы правильный подбор насосов, арматуры и контрольно-измерительных приборов, а также правильная трассировка трубопроводов.

Список литературы

1. **Юрчевский Е.Б.** Разработка, исследование и внедрение водоподготовительного оборудования на ТЭС с улучшенными экологическими характеристиками: дис. ... д-ра техн. наук / Иван. гос. энерг. ун-т. – Иваново, 2004.
2. **Strauss S.D.** Consider upflow regeneration as demineralization alternative // *Power*. – 1995, July. – P. 43–44.
3. **Bettle C., Lisson G.** A Comparison of Three Different Counterflow Regeneration Systems in a 640 m³/h Water Plant // *International Water*. – July. – 2002.
4. **Громов С.Л.** Технологические преимущества процесса противоточной регенерации ионообменных смол UPCORE: промывка взрыхлением // *Теплоэнергетика*. – 1998. – № 3. – С. 52–55.
5. **Громов С.Л.** Основные пути совершенствования технологии водоподготовки в СНГ // *Химическое и нефтяное машиностроение*. – 1998. – № 12. – С. 47–48.
6. **Патент РФ № 1372711.** Способ регенерации ионитного фильтра / Д.Л. Цырульников, Е.Б. Юрчевский, А.В. Яковлев, Т.В. Алексеева, Л.Л. Остроухов. 1996.
7. **Юрчевский Е.Б., Яковлев А.В.** Внедрение технологии противоточного ионирования на базе реконструкции установленного оборудования // *Энергосбережение и водоподготовка*. – 1998. – № 1. – С. 52–59.
8. **Внедрение** противоточной технологии UPCORE фирмы «Дау Кэмикал» (США) на ВПУ по обессоливанию ТЭЦ-12 МОСЭНЕРГО / И.И. Боровкова, И.С. Балаев,

Жадан Александр Владимирович,
ЗАО «Научно-производственная компания Медиана-фильтр»,
генеральный директор, соискатель,
телефон (495) 660-07-71,
e-mail: jadan@mediana-filter.ru

Бушуев Евгений Николаевич,
ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
доктор технических наук, профессор кафедры химии и химических технологий в энергетике,
телефон (4932) 38-57-83,
e-mail: admin@xxte.ispu.ru

С.Л. Громов и др. // *Электрические станции*. – 2000. – № 5. – С. 29–31.

9. **Алексеева Т.В., Федосеев Б.С.** Совершенствование техники ионного обмена на основе противоточной технологии // *Энергетик*. – 2001. – № 7. – С. 17–19.

10. **Гришин А.А., Малахов И.А., Ларин Б.М.** Экологические проблемы ионообменных технологий на ТЭС // Сб. мат-лов Междунар. конф. «Экология энергетики», МЭИ. – М., 2000. – С. 131–132.

11. **Опыт** применения технологии противоточного натрий-катионирования в котельных / Э.Г. Амосова, П.И. Долгополов, Н.В. Потапова и др. // *Сантехника*. – 2003. – № 2. – С. 28–31.

12. **Красильников М.Д.** Противоточная технология обработки воды // *Вода и экология*. – 2005. – № 2. – С. 39–41.

13. **Ларин Б.М., Бушуев Е.Н., Бушуева Н.В.** Технологическое и экологическое совершенствование водоподготовительных установок на ТЭС // *Теплоэнергетика*. – 2001. – № 8. – С. 23–27.

References

1. Yurchevskiy, E.B. *Razrabotka, issledovanie i vnedrenie vodopodgotovitel'nogo oborudovaniya na TES s uluchshennymi ekologicheskimi kharakteristikami* [Development, Research and Implementation of Water-Treatment Equipment on Thermal Power Plant with Improved Ecological characteristics]: Thesis of Candidate in Engineering. Ivanovo, 2004.
2. Strauss, S.D. Consider upflow regeneration as demineralization alternative. *Power*, 1995, July, pp. 43–44.
3. Bettle, C., Lisson, G. A Comparison of Three Different Counterflow Regeneration Systems in a 640 m³/h Water Plant, *International Water*, 2002, July.
4. Gromov, S.L. *Teploenergetika*, 1998, no. 3, pp. 52–55.
5. Gromov, S.L. *Khimicheskoe i neftyanoe mashinostroenie*, 1998, no. 12, pp. 47–48.
6. Patent RF № 1372711. *Sposob regeneratsii ionitnogo filtra* [Regeneration Way of Ionic Filter] / D.L. Tsyru'nikov, E.B. Yurchevskiy, A.V. Yakovlev, T.V. Alekseeva, L.L. Ostroukhov. 1996.
7. Yurchevskiy, E.B., Yakovlev, A.V. *Energoberezhenie i vodopodgotovka*, 1998, no. 1, pp. 52–59.
8. Borovkova, I.I., Balaev, I.S., Gromov, S.L. *Elektricheskie stantsii*, 2000, no. 5, pp. 29–31.
9. Alekseeva, T.V., Fedoseev, B.S. *Energetik*, 2001, no. 7, pp. 17–19.
10. Grishin, A.A., Malakhov, I.A., Larin, B.M. *Ekologicheskie problemy ionoobmennyykh tekhnologiy na TES* [Ecological Problems of Ionic Exchange Technologies on Thermal Power Plant], in *Sbornik materialov Mezhdunarodnoy konferentsii «Ekologiya energetiki»* [Source Book of International Conference "Ecology of Power Engineering"]. Moscow, 2000, pp. 131–132.
11. Amosova, E.G., Dolgoplov, P.I., Potapova, N.V. *Santekhnika*, 2003, no. 2, pp. 28–31.
12. Krasil'nikov, M.D. *Voda i ekologiya*, 2005, no. 2, pp. 39–41.
13. Larin, B.M., Bushuev, E.N., Bushueva, N.V. *Teploenergetika*, 2001, no. 8, pp. 23–27.