

Секция «Технология водоподготовки, водно-химический режим и химконтроль на ТЭС и АЭС»

Председатель секции: д.т.н., проф. Ларин Б.М.

Секретарь: к.т.н., доц. Еремина Н.А.

*М.Ю. Опарин, к.т.н., Е.А. Карнычев, инж. (ИГЭУ);
М.В. Овчинникова, инж. (Кировский филиал ОАО «ТГК-3»)*

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ФЛОКУЛЯНТОВ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ
РАСПОЛОГАЕМОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ
ОСВЕТИТЕЛЕЙ В РЕЖИМЕ КОАГУЛЯЦИИ
СУЛЬФАТОМ АЛЮМИНИЯ**

На водоподготовительной установке ТЭЦ-5 Кировского филиала (далее ВПУ) предварительная обработка исходной воды в проектном режиме должна осуществляться в осветлителях ВТИ-400и путем её известкования с коагуляцией сульфатом железа (II). Было принято решение об изменении технологии обработки воды с использованием сульфата алюминия и флокулянта ПАА. В качестве источника водоснабжения используется вода р. Вятка, которая характеризуется относительно большой концентрацией соединений железа ($0,87 \text{ мг/дм}^3$) и небольшой окисляемостью ($6,2 \text{ мг/дм}^3$).

При коагуляции исходной воды в осветлителях происходило удовлетворительное снижение содержания взвешенных веществ и органических соединений, а также содержания соединений железа и алюминия. Существенное ухудшение качества коагулированной воды по данным показателям (в частности, в 2010 г.) наблюдалось по показателям содержания в коагулированной воде в паводковые периоды при увеличении нагрузки на каждый осветлитель более $140 \text{ м}^3/\text{ч}$. В результате чего происходил активный вынос шлама в коагулированную воду.

В 2010 году были проведены испытания осветлителей ст. №№ 1 и 2 с целью установления возможности увеличения их располагаемой производительности при условии получения коагулированной воды рекомендованного качества [1, 2].

По результатам испытаний установлено, что при нагрузке осветлителя ст. № 1 от 60 до $110 \text{ м}^3/\text{ч}$ и дозе коагулянта от $1,3$ до $1,5 \text{ мг-экв/дм}^3$ каче-

ство коагулированной воды и размер непрерывной продувки находились в пределах рекомендованных значений показателей качества [1, 2]. В диапазоне нагрузок на осветлитель от 110 до 150 м³/ч увеличивалась мутность осветленной воды от 0,67 мг/дм³ до 22,7 мг/дм³, что обуславливалось выносом шлама. Для поддержания качества коагулированной воды на рекомендуемом уровне была снижена зона контактной среды увеличением объёма удаляемой из шламоуплотнителя воды (увеличение непрерывной продувки) до 9,0 м³/час (4,5 %). Данное значение соответствовало нагрузке 200 м³/ч. При этом качество коагулированной воды было удовлетворительным. При увеличении нагрузки до 220 м³/час происходило повторное увеличение мутности осветленной воды, до 14,8 мг/дм³. Дальнейшее увеличение нагрузки осветлителя №1 было приостановлено из-за конструктивного ограничения расхода воды непрерывной продувки и заметного ухудшения качества коагулированной воды.

При испытании осветлителя № 2 прослеживалась та же закономерность. Осветлитель № 2 работал без ухудшения качества коагулированной воды на нагрузке 140 м³/ч. При постепенном увеличении нагрузки до 175 м³/ч потребовалось увеличить размер непрерывной продувки до 6,5 - 7 %. На этом дальнейшее увеличение нагрузки было приостановлено. Изменение доз коагулянта и флокулянта при проведении испытаний не дали положительных результатов.

Таким образом, по результатам испытаний установлено, что осветлители ВТИ-400 ст. №№ 1 и 2 работают эффективно при максимальной нагрузке 120 - 140 м³/ч. Дальнейшее увеличение нагрузки требует увеличения непрерывной продувки, превышающей рекомендованные значения (рис. 1).

Одним из путей увеличения располагаемой нагрузки на осветлители с одновременным улучшением качества коагулированной воды, по результатам ранее проведенных исследований на аналогичных объектах [3], является замена флокулянта.

Были проведены лабораторные испытания без накопления шлама, целью которых являлось выявление оптимального типа флокулянта для исходной воды р. Вятка при рабочей дозировке коагулянта в паводковый период. Опыты проводились в сравнении с применением ПАА и без него. Для проведения исследований использовался коагулянт, применяемый на ТЭЦ-5 Кировского филиала «ТГК-5». Опыты проводились в соответствии с методикой [4] при температуре воды 25 ± 5 °С.

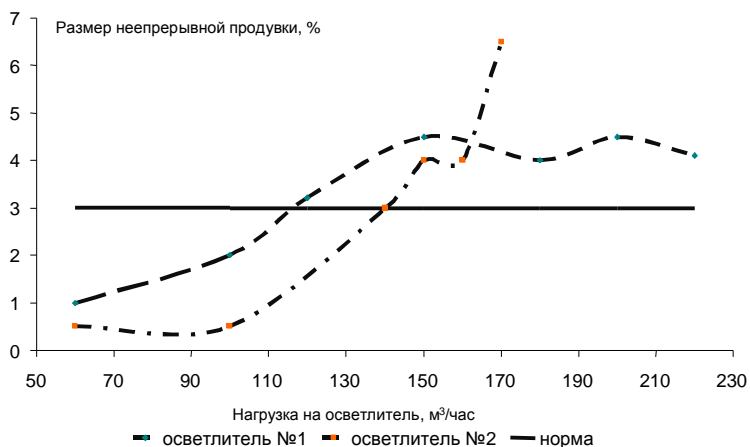


Рис. 1. Зависимость процента непрерывной продувки от нагрузки на осветлители по результатам испытаний.

В качестве флокулянтов при проведении опытов использовались:

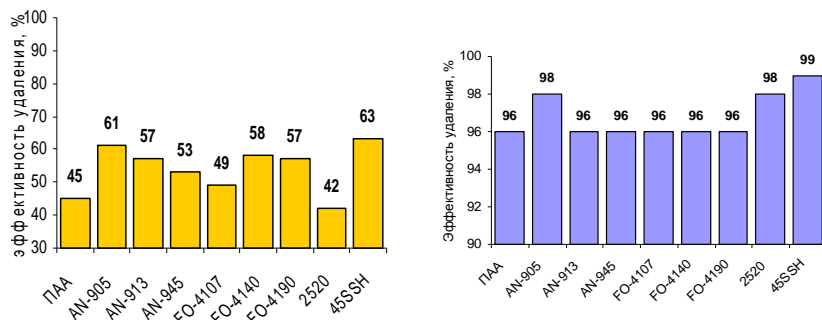
- анионоактивные флокулянты AN905 PWG, AN910 PWG, AN913 PWG, AN923 PWG, AN934 PWG, AN945 PWG, AN956 PWG компании SNF (Франция);
- катионоактивные флокулянты FO 4107, FO 4140, FO 4190 компании SNF (Франция);
- анионоактивные флокулянты 2520TR и 2540TR компании Ashland (США).

По результатам первых опытов было установлено, что образование шлама происходило достаточно интенсивно во всех пробах. По скорости образования и осаждения шлама результаты пробной коагуляции можно разбить на три условные группы. Первая – с образованием крупного быстрооседающего шлама. Вторая – с образованием хлопьев средней величины и более низкой скоростью осаждения. Третья – с мелким и медленно оседающим шламом, в которую входила и коагуляция с применением ПАА.

По результатам первых опытов из программы дальнейших испытаний были исключены флокулянты 2540 TR, AN945 PWG, AN923 PWG, AN934 PWG.

С флокулянтами, относящимися к первой и второй группам, были проведены повторные серии опытов. Результаты эффективности удале-

ния органических соединений и соединений железа, а так же содержание остаточного алюминия в пробах приведены на рис. 2 (а-б).



а) эффективность по снижению окисляемости б) эффективность по снижению содержания железа

Рис. 2. Эффективности удаления органических соединений и соединений железа

По результатам проведенных опытов установлено, что в паводковый период, при местных условиях, наиболее предпочтительнее выглядит коагуляция сернокислым алюминием с дозой 1,3-1,5 мг-экв/дм³ с применением катиоактивного флокулянта ФО 4140, который и может быть рекомендован к промышленному использованию в условиях ТЭЦ-5 Кировского филиала «ТГК-5» с минимальными изменениями в схеме и оборудовании установки предварительной очистки воды.

Библиографический список

1. **СТО ВТИ 37.002-2005** «Основные требования к применению ионов на водоподготовительных установках тепловых электростанций. Технологические рекомендации по диагностике их качества и выбору».
2. **РД 153-34.1-37.530-98** «Методика расчета расхода тепла на технологические нужды водоподготовительных установок».
3. **Исследование** и выбор условий коагуляции воды на ТЭЦ-ПВС ОАО «Северсталь» / Б.М. Ларин, М.Ю. Опарин, Е.А. Карпычев // Теплоэнергетика. 2010, № 7, С. 17-21.
4. **В.М. Квитковский**, Руководящие указания по коагуляции воды на электростанциях: М., 1973.

Э.Р. Зверева, к.х.н., проф. (КГЭУ)

УТИЛИЗАЦИЯ КАРБОНАТНОГО ШЛАМА СИСТЕМ ХИМВОДООЧИСТКИ НА ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ

Энергетическая стратегия развития России на период до 2020 года в качестве приоритетов развития топливно-энергетического комплекса ставит вопросы снижения удельных затрат на производство и использование энергоресурсов за счет рационализации их потребления.

В статье 4 ФЗ РФ от 23.11.2009 г. «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности» говорится о необходимости эффективного и рационального использования энергетических ресурсов.

Согласно проектам Энергетической стратегии России, в XXI в., даже в случае самых жестких ограничений, добыча нефти в 2020 г будет на уровне 450 - 520 млн. т. Выработка электроэнергии на тепловых электростанциях к 2020 году возрастет в 1,4 раза по сравнению с 2000 годом.

Важнейшей тенденцией развития не только мировой, но и российской нефтеперерабатывающей отрасли является повышение глубины переработки нефти и рост объема выпуска высококачественных нефтепродуктов (ожидаемый рост объемов переработки нефти к 2020 году – 190 - 215 млн. т/год, с одновременным увеличением глубины переработки до 80-85 % к 2020 году).

Однако, по мере углубления переработки нефти доля прямогонного мазута в котельных топливах снижается, а доля гудрона и тяжелых остатков крекинг-процессов растет, т.е. качество топочного мазута ухудшается. Потребление высокосернистых вязких мазутов в качестве котельных топлив приводит к выбросу больших количеств токсичных оксидов серы и азота, и канцерогенных полициклоаренов, в первую очередь бенз(а)пирена и пентаоксида ванадия. В результате образования оксидов серы, повышается точка росы уходящих топочных газов, что приводит к образованию серной кислоты и, как следствие, к частым ремонтам и замене хвостовых частей котельных агрегатов из-за их коррозии.

Другой, не менее важной проблемой теплоэнергетики, является обработка, хранение и утилизация отходов и шламов. Большое количество карбонатного шлама (продукта водоумягчения природных вод известкованием и коагуляцией) образуется в результате работы систем химводо-

очистки (ХВО) на тепловых электростанциях. Карбонатный шлам как продукт, полученный химическим осаждением, обладает комплексом физико-химических свойств: определенным потенциалом ионизации, поверхностной активностью, высокой дисперсностью и т.д.

Традиционно, шламы ХВО складываются и временно накапливаются в шламоотвалах. Учитывая значительное количество накопленных шламов, безопасность, доступность и дешевизну, они имеют хорошую перспективу для широкого использования с целью ресурсосбережения в энергетической отрасли, в частности, в качестве присадки к высокосернистым топочным мазутам.

Использование карбонатного шлама возможно только после обезвоживания или сушки при постоянной температуре 120-130 °С. Высушенный шлам представляет собой сыпучий порошок от серого до бурого цвета с влажностью не более 15% и массовой долей карбонатов кальция и магния – 80-88%. Состав шламов, образующийся при известковании и коагуляции природных вод, зависит от состава обрабатываемой воды и режима обработки, однако, во всех случаях основным компонентом является карбонат кальция (75-85%), а также гидроксиды магния и железа (по 4-8% каждого компонента) и кремнекислые и органические соединения [1, 2].

Обезвоженный карбонатный шлам водоподготовки Казанской ТЭЦ-1 был испытан в качестве присадки к высокосернистому топочному мазуту марки М100 Нижнекамского НПЗ.

При добавлении присадки в топочный мазут количественного изменения по компонентам не происходит. Однако соединения присадки сорбируются на поверхности парафинов и оказывают положительное действие на реологические свойства мазута. Парафины при понижении температуры легко кристаллизуются и образуют пространственную структуру, в результате чего топливо теряет подвижность. Присадка же препятствует росту зарождающихся кристаллов и их ассоциации, в результате чего снижаются вязкость и температура застывания топочного мазута. В связи с этим уменьшаются энергозатраты на подогрев мазута и на его перекачку по трубопроводам.

При сжигании топочного мазута в калориметре-интеграторе («калориметрической бомбе») было установлено, что происходит снижение содержания серы и теплоты сгорания топочного мазута по мере увеличения концентрации присадки в мазуте. Однако учитывая, что допустимое расхождение между параллельными опытами по ГОСТ 21261-91 «Нефтепро-

дукты. Метод определения высшей теплоты сгорания и вычисление низшей теплоты сгорания» составляет 130 кДж/кг (31 ккал/кг), можно считать, что калорийность мазута не изменяется при добавлении в него присадки в количестве до 0,5% (масс.) [2, 3].

Все экспериментальные данные подвергались статистической обработке, в ходе которой результаты экспериментальных исследований с учетом погрешности эксперимента были обобщены в расчетные уравнения. Полученные уравнения и результаты экспериментальных исследований с учетом погрешности эксперимента в графическом виде представлены на рис. 1 [5, 6].

С учетом требований, предъявляемых к работе оборудования мазутного и присадочного хозяйств на ТЭЦ, была разработана схема дозирования присадки во всасывающий коллектор мазутных насосов.

Проведены испытания котельного агрегата ТГМ-84«Б» Новочебоксарской ТЭЦ-3, согласно разработанной рабочей программы проведения режимно-наладочных испытаний, которые показали, что при сжигании топочного мазута марки М100 с присадкой КПД брутто энергетического котла ТГМ-84«Б» повышается на 0,7 % по сравнению со сжиганием мазута марки М100, необработанного присадкой.

На основе собранных данных была составлена режимная карта с указанием оптимальных параметров работы котельного агрегата на топочном мазуте с присадкой в виде обезвоженного карбонатного шлама водоподготовки Казанской ТЭЦ-1, а также определены технико-экономические (КПД котла брутто) и экологические показатели (SO_x в дымовых газах) работы котлоагрегата на мазуте с указанной выше присадкой [7,8].

Таким образом, согласно результатам промышленных испытаний, происходит снижение содержания оксидов серы в дымовых газах на 0,6 % и, как следствие, снижение температуры уходящих газов и повышение КПД брутто котельного агрегата на 0,7 %.

Для корректной экономической оценки эффективности инвестиций на внедрение дозирующего комплекса присадки на базе одноступенчатой схемы мазутного хозяйства был выбран метод расчета чистого дисконтированного дохода. Расчет проводился для парового котла ТГМ-84«Б», работающего на топочном мазуте марки М100 при максимальной нагрузке [9].

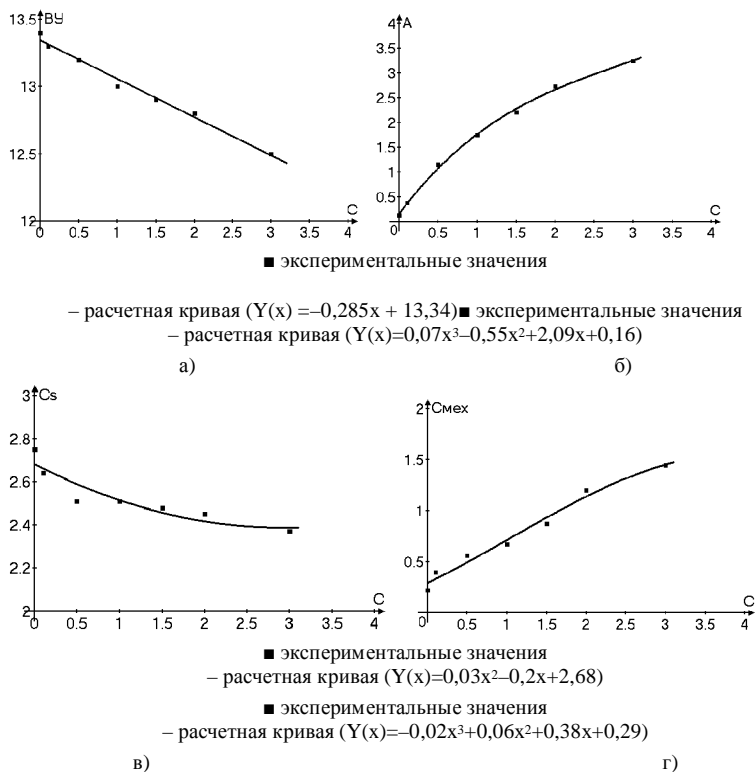


Рис. 1. Зависимость условной вязкости мазута при $t=80^\circ\text{C}$ (а), зольности (б), содержания серы (в) и механических примесей (г) от концентрации присадки.

Расчеты показали, что экономический эффект применения обезвоженного карбонатного шлама водоподготовки в качестве присадки к топочному мазуту составляет 4981 тыс. руб./год, а срок окупаемости – 4 мес. Суммарный предотвращенный экологический ущерб атмосфере и земельным ресурсам составляет 1199 тыс. руб./год.

Библиографический список

1. Пат. 2363722 Российская Федерация. Присадка к мазуту / Э.Р. Зверева, Л.В. Ганина. Опубл. 10.08.2009. Бюл. № 22.
2. Зверева Э.Р., Ганина Л.В., Андришина И.А. Влияние присадки на эксплуатационные свойства топочных мазутов // Химия и технология топлив и масел. 2009. № 5. С. 31-33.
3. Зверева Э.Р. Присадки к топочным мазутам // Известия высших учебных заведений.

Проблемы энергетики. 2011. № 1-2. С. 7-17.

4. **Зверева Э.Р.** Новая присадка к мазуту // Энергосбережение и водоподготовка. 2011. № 1. С. 54-57.

5. **Зверева Э.Р.** Использование карбонатного шлама в качестве присадки к котельным топливам // Сб. трудов VI Международной научно-практической конференции. Санкт-Петербург. 2010. С. 11-116.

6. **Зверева Э.Р.** Повышение качества топочных мазутов // Бутлеровские сообщения. 2011. Т. 25. № 4. С. 99-104.

7. **Зверева Э.Р., Ганина Л.В., Андриюшина И.А.** Экспериментальное исследование эффективности присадки к мазуту // Теплоэнергетика. 2010. № 6. С. 69-71.

8. **Зверева Э.Р.** Ресурсо-, энергосберегающие технологии в мазутных хозяйствах тепловых электрических станций. Монография. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2010. 184 с.

*Е.Н. Бушуев, д.т.н., проф., А.Б. Ларин, к.т.н., доц. (ИГЭУ),
А.В. Жадан, инж. (НПК «Медиана-фильтр»)*

ОПЫТ ОСВОЕНИЯ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОБРАБОТКИ ВОДЫ НА ТЭС

В последнее десятилетие производится как строительство новых, так широкая реконструкция существующих водоподготовительных установок (ВПУ). Основным методом, используемым в настоящее время для обессоливания на большинстве ТЭС и АЭС, является ионный обмен. К недостаткам этой технологии относятся: значительное количество необходимого водоподготовительного оборудования, высокая потребность в кислоте и щелочи, что приводит к необходимости ведения довольно сложного реагентного хозяйства, системы нейтрализации стоков и к образованию высокоминерализованных сточных вод, сброс которых ограничен. Причем расход реагентов на регенерацию, как правило, в 2–3 раза превышает стехиометрический. Соответственно в такое же число раз увеличивается количество сбрасываемых солей. В итоге все это ведет к высоким капитальным и эксплуатационным затратам.

Ввиду непрогнозируемой селективности ионообменных материалов по отношению к органическим загрязнениям общий органический углерод в обессоленной воде может находиться в пределах от 100 до 500–800 мкг/л, что не отвечает современным требованиям. Даже применение ионитов-органопоглатителей в большинстве случаев не приводит к достижению требуемых показателей, но повышает расход воды на собственные нужды и потребление поваренной соли и щёлочи на регенерацию.

С целью снижения эксплуатационных затрат на водоподготовку, повышения качества обессоленной воды находят применение новые технологии обработки воды на противоточных ионитных фильтрах и установки на базе мембранных методов.

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

ВПУ номинальной производительностью 1700 м³/ч, реконструированная по технологии Schwebbett, находится в эксплуатации на ОАО «Северсталь» [1]. Установка предназначена для выработки глубоко умягченной воды ($J_0 < 10$ мг-экв/дм³) и включает две стадии обработки исходной (р. Шексна) воды: осветление на механических однокамерных фильтрах (12 шт. с единичной производительностью 145 м³/ч) с периодическим подключением контактной коагуляции и Na-катионирование на противоточных фильтрах (4 шт. с единичной производительностью 585 м³/ч).

Na-катионитный фильтр, схема обвязки трубопроводов которого показана на рис. 1, предполагает фильтрацию ос-

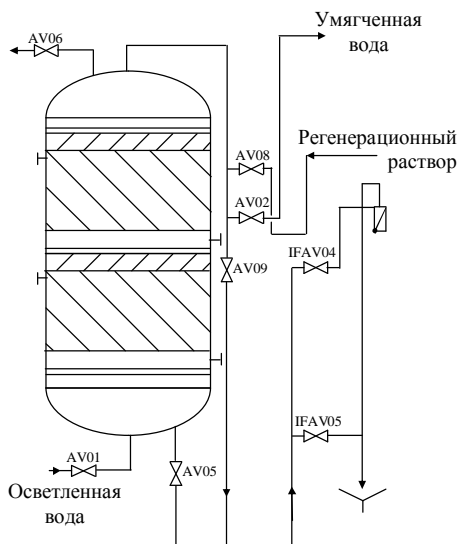


Рис. 1. Принципиальная схема Na-катионитного фильтра:

AV01 – подвод осветленной воды/ввод доотмывочной воды; AV02 – выход химически очищенной воды; AV05 – опорожнение/выход отмывочной воды/выход отработанного регенерационного раствора; AV06 – воздушник; AV08 – подвод регенерационного раствора; AV09 – выход доотмывочной воды; IFAV05 – дренирование; IFAV04 – сброс отработанного регенерационного раствора в дренаж/сброс отмывочной воды в дренаж; // – катионит; / / – инерт

ветленной воды снизу-вверх с расходом от 170 до 585 м³/ч. Фильтр представляет собой двухкамерный аппарат (D=3,8 м) с тремя дренажными устройствами типа «ложное дно» и тысячей колпачковых элементов в каждом устройстве, перекрывающем все поперечное сечение фильтра. Фильтр загружен катионитом ррС-100 (V=30 м³) с плавающим слоем инерта. По результатам лабораторных исследований и промышленных испытаний было установлено, что примененный катионит ррС-100 (фирма «Purolite») устойчиво работает с рабочей емкостью E_p=1200–1400 г-экв/м³ при удельном расходе соли на регенерацию 100 г/г-экв [1]. При нагрузке в диапазоне 170–500 м³/ч на один фильтр (скорость фильтрации до 50 м/ч) жесткость умягченной воды держится на уровне 2 мкг-экв/дм³.

Некоторые новые ВПУ основаны на применении обратного осмоса для деминерализации воды с использованием в качестве предочистки традиционных технологий (осветлителей). Примерами таковых являются ВПУ ТЭЦ-12 ОАО «Мосэнерго», ТЭЦ ОАО «Северсталь», Уфимская ТЭЦ-1, ОАО «Ивановские ПГУ» (рис. 2). Использование обратного осмоса дает возможность извлекать на одной ступени очистки до 96–98 % солей, что близко к эффективности одной ступени ионного обмена [2].

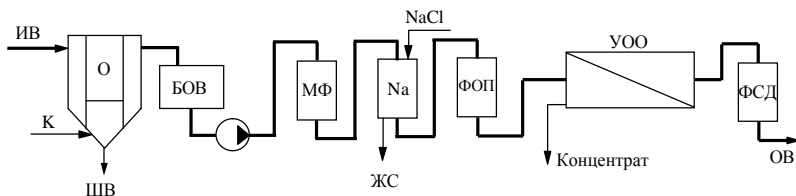


Рис. 2. Схема ВПУ ОАО «Ивановские ПГУ»:

ИВ – исходная вода; О – осветлитель; БОВ – бак осветленной воды; МФ – механический фильтр; Na – Na-катионитный фильтр; ФОП – фильтр-органопоглотитель; К – коагулянт; ШВ – шламовые воды; ОВ – обессоленная вода

Система доочистки ионообменным методом может состоять из ступени ионного обмена с одним катионитным и одним анионитным фильтрами, и/или из фильтра смешанного действия. Поскольку на такую установку поступает обессоленная вода, ресурс фильтров огромен, достигает десятков и сотен тысяч кубических метров.

Сравнение экономической эффективности обессоливания воды ионным обменом и обратным осмосом показало [2], что при солесодержании более 150–300 мг/л обратный осмос экономичнее даже противоточного ионного обмена. Однако опыт показывает, что в таких схемах качество исходной воды УОО часто не отвечает требованиям по содержанию же-

леза и окисляемости [1]. Решением этого может быть достигнуто применением ультрафильтрации на стадии предочистки.

Ультрафильтрация позволяет не только получать воду, практически свободную от механических примесей, но и совместно с коагуляцией удалять значительное количество органики (до 60 % от исходного количества), а также коллоидную кремневую кислоту.

Совместное использование ультрафильтрации и обратного осмоса дает возможность создать малореагентную систему водоподготовки для получения фильтрата с удельной электропроводностью на уровне 1–5 мкСм/см. В таких схемах дальнейшее доведение качества воды до нормативных значений производится ионообменным (рис. 3) или электроионитным [3] (рис. 4) методами.

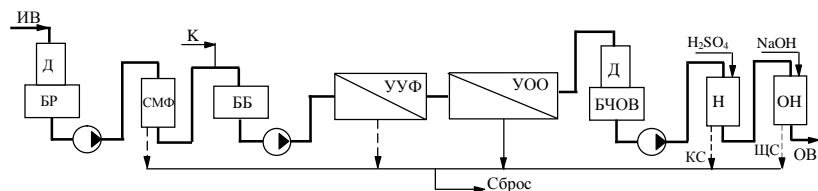


Рис. 3. Схема комбинированной установки для подготовки глубоко обессоленной воды с применением ионообменной доочистки:

Д – декарбонизатор; БР – емкость разрыва струи; СМФ – самопромывные механические фильтры; ББ – буферные емкости; УУФ – узел ультрафильтрации; БЧОВ – бак частично обессоленной воды

Надежность комбинированной мембранно-ионообменной установки (рис. 3) большая, поскольку даже при возможных нарушениях работы системы обратного осмоса, узел доочистки обеспечит заданное качество воды. Вместе с тем, сохраняется необходимость в использовании кислоты и щелочи, поэтому данная технология, хоть и в меньшей степени, имеет те же недостатки, что и традиционная. Такая технология применяется на Новочеркасской ГРЭС, Заинской ГРЭС, Орловской ТЭЦ и т.д.

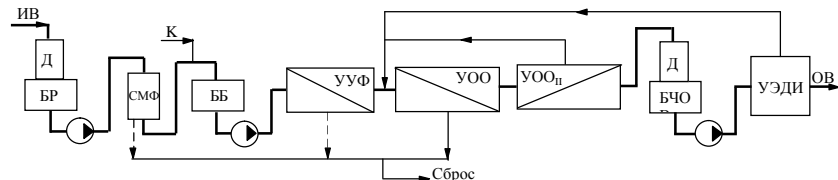


Рис. 4. Схема комплексной установки для подготовки глубоко обессоленной воды с применением доочистки электродеионизацией:

УЭДИ – узел доочистки электродеионизацией

Основным недостатком всех мембранных систем является достаточно низкий коэффициент использования исходной воды. Если в традиционной ионообменной схеме с коагуляцией и механической фильтрацией на выходе достигается производительность 85–90 % от расхода исходной воды, то для типичного сочетания ультрафильтрации и обратного осмоса этот показатель не превышает 50–60 %. Однако следует учитывать, что концентраты от установок ультрафильтрации и обратного осмоса по содержанию часто находятся в пределах нормируемых значений и могут быть беспрепятственно сброшены.

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

С точки зрения обеспечения минимального расхода реагентов и наивысшей экологичности при высоком качестве обессоленной воды наибольшую эффективность имеют комплексные ВПУ, состоящие исключительно из мембранных модулей различного назначения: ультра- и нанофильтрации, обратного осмоса, мембранной дегазации и электродеионизации, называемых в целом — интегрированные мембранные технологии (ИМТ) [3].

В комплексной мембранной установке (рис. 4) вода доочищается на узле электродеионизации. Электродеионизация (ЭДИ, EDI) — это процесс непрерывного обессоливания воды с использованием ионообменных смол, ионоселективных мембран и постоянного электрического поля [3]. Модуль электродеионизации содержит два электрода, пространство между которыми заполнено тонкими слоями ионообменных смол, разделенных ионоселективными мембранами. Такие мембраны представляют собой тонкоизмельченный катионит или анионит, спеченный с полиэтиленом в тонкую пленку.

При степени использования исходной воды 90–95 % очищенная вода имеет удельное электропроводностью на уровне 0,07 мкСм/см, а также минимальные содержания кремния и общего органического углерода. При этом солесодержание концентрата обычно ниже, чем солесодержание воды, подаваемой на установку обратного осмоса, поэтому он весь возвращается на вход этой установки на повторное использование.

Для повышения надежности работы комплексных мембранных систем водоподготовки на базе ИМТ требуется использование на стадии предварительного обессоливания двухступенчатого обратного осмоса (рис. 4).

Комплексная мембранная установка для подготовки глубоко обессоленной воды, выполненная в соответствии с данной схемой, обеспечивает минимальный объем отходов. Отпадает необходимость в кислотно-щелочном хозяйстве, снижаются эксплуатационные расходы и резко улучшаются экологические параметры. Стоимость установки электродеионизации меньше, чем ионообменной, а при учете цены кислотно-реагентного хозяйства – существенно меньше.

Такие установки наиболее целесообразны для вновь строящихся объектов. Особенно это актуально для труднодоступных районов, куда затруднен подвоз реагентов. Комплексная мембранная установка успешно эксплуатируется на Первомайской ТЭЦ-14 [4].

Библиографический список

1. **Ларин Б.М.** Опыт освоения новых технологий обработки воды на ТЭС / Б.М. Ларин, А.Н. Коротков, М.Ю. Опарин и др. // Теплоэнергетика. 2010. №8. С.8–13.
2. **Громов С.Л.** Критические параметры обратного осмоса и противоточного ионного обмена // Энергосбережение и водоподготовка. 2004. №5. С. 13–14.
3. **Tate J.** Electrodeionization basics, Technical Pages for Ionpure Technologies, Water Technology magazine, V. 33, № 6 – June, 2010.
4. **Тропина Д.В.** Пуск системы водоподготовки Путиловской ТЭЦ на базе интегрированных мембранных технологий // Технология чистоты. 2010. №4. С.12–13.

*Ю.К. Коломиец, инж.
(РУП «Витебскэнерго» филиал Оршанская ТЭЦ)*

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ НАСОСНЫХ УСТАНОВОК ОТКАЧКИ ХИМИЧЕСКИ АКТИВНЫХ СТОКОВ ЦЕХОВ ХИМВОДООЧИСТКИ ТЭЦ

Работа технологических линий откачки стоков от установок обессоливания, умягчения, предочистки, узла нейтрализации, абразивных стоков сатуратура и продувки осветлителей характеризуется отказами погружных насосов марки АХП.

Это объясняется агрессивностью среды, наличием абразивных частиц, что в сочетании с высокими скоростями потока разрушает кольцо, втулку и вкладыш, а затем подшипник подвески.

Ежемесячно наблюдались случаи выхода из работы 1-2 насосов типа АХП (рис. 1).

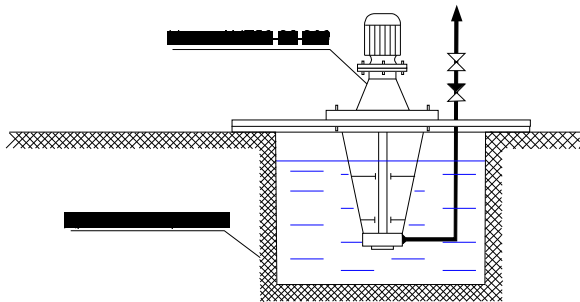


Рис. 1. Существующая схема применения погружного насоса в системе химводоочистки

Для устранения отмеченных недостатков предусматриваются следующие направления:

1. Сохранить существующую схему электроснабжения и КИПиА.
2. Снизить скорость потока и уловить абразивные частицы.
3. Применить насосы консольного типа, установленные на нулевой отметке.

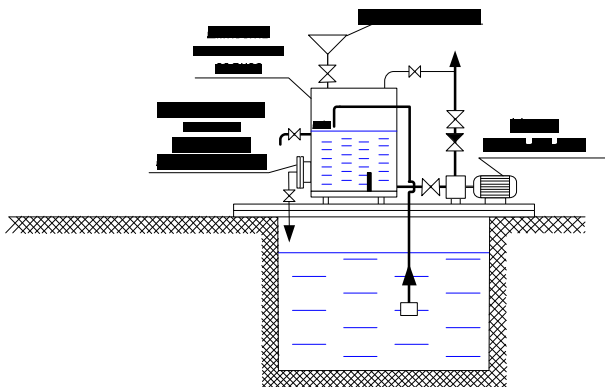


Рис. 2. Применение насоса консольного типа с емкостью постоянного залива в системе химводоочистки

Как видно из предлагаемой схемы (рис. 2), установка включает в себя емкость постоянного залива с барьером и насос химический консольного типа АХ50/32, который по своим рабочим характеристикам соответствует заменяемому АХП50/32.

Принцип работы ясен из прилагаемой схемы. Залив производится только при первом пуске после монтажа или очистки емкости от отложений.

Объем бака — не менее трех объемов всасывающего патрубка и насоса.

За 5 лет эксплуатации не было ни одного случая отказа трех подобных систем.

При этом достигается:

1. Надежность.
2. Увеличение ресурса эксплуатации.
3. Сокращение номенклатуры насосов.
4. Снижение затрат на ремонт.
5. Уменьшение затрат электроэнергии на перекачку 1 м³ стоков.
6. Применение более дешевых насосов.
7. Более высокий КПД консольных насосов по сравнению с погружными, в связи с разным числом у насосов радиальных и упорных колец.

*Б.М. Ларин, д.т.н., проф., А.Б. Ларин,
Е.В. Козюлина, к.т.н., доц., А.В. Колегов, асп. (ИГЭУ)*

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ФОСФАТОВ В КОТЛОВОЙ ВОДЕ ПО ИЗМЕРЕНИЮ УДЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ И pH

Использование измерения удельной электропроводности (далее электропроводности) проб котловой воды для определения избытка фосфатов привлекало и привлекает внимание специалистов [1, 2]. Однозначная линейная зависимость: электропроводность – концентрация фосфатов, получаемая для водного раствора фосфата натрия небольших концентраций в лабораторных условиях, не была идентична аналогичным зависимостям, полученным для котловых вод вследствие ряда причин, в том числе, добавление NaOH в рабочий раствор тринатрийфосфата [3].

Данная работа направлена на косвенное определение концентрации фосфатов и ионных примесей котловой воды при использовании штатных приборов автоматизированного химического контроля (кондуктометров и pH-метров) путем разработки математической модели ионных равновесий.

В настоящее время разработан алгоритм и программа косвенного определения ряда нормируемых и диагностических показателей состояния водно-химического режима (ВХР) барабанных котлов ($p = 13,8$ МПа). К числу таких показателей относятся: концентрация аммиака в питательной воде, фосфатов – в котловой воде чистого и солевого отсеков, солесодержание и концентрация аммиака в паре [4, 5].

В целях практической реализации был выполнен анализ разработанной математической модели ионных равновесий в котловой воде барабанных котлов $p_6=13,8$ МПа. В результате сформирована система уравнений (1)-(5) для расчета концентраций примесей котловой воды солевого отсека на базе измерений удельной электропроводности охлажденных прямой (χ) и Н-катионированной (χ_H) проб и pH в питательной и котловой воде.

Принципиальная схема реализации математической модели ионных равновесий котловой воды показана на рис. 1.

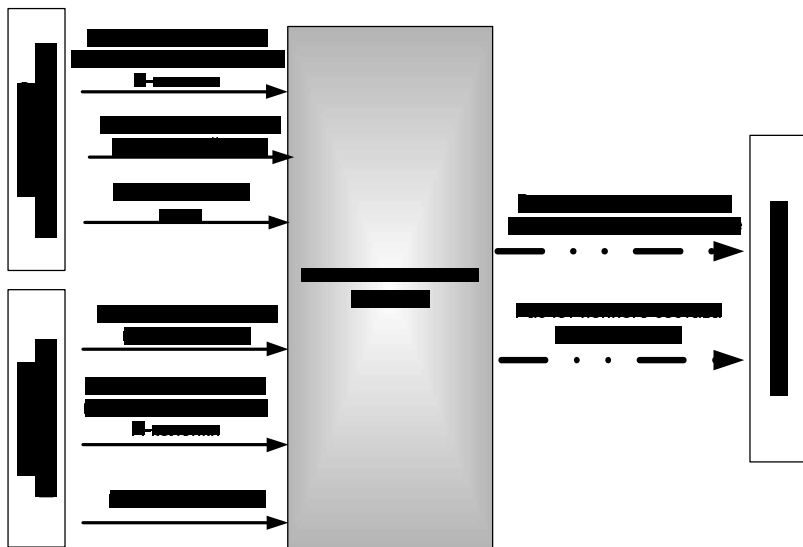


Рис. 1. Принципиальная схема реализации математической модели ионных равновесий котловой воды.

Система уравнений ионных равновесий в котловой воде солевого отсека:

$$[\text{Na}^+]_{\text{co}} = [\text{OH}^-]_{\text{co}} + 2 \cdot [\text{HPO}_4^{2-}]_{\text{co}} + [\text{Cl}^-]_{\text{co}} + (2 + 10^{-\text{pH}_{\text{co}}}/K_{\text{II}}^{\text{H}_2\text{CO}_3}) \cdot [\text{CO}_3^{2-}]_{\text{co}} \quad (1)$$

$$[\text{OH}^-]_{\text{co}} = b \cdot [\text{HPO}_4^{2-}]_{\text{co}} + (10^{-\text{pH}_{\text{co}}}/K_{\text{II}}^{\text{H}_2\text{CO}_3}) \cdot [\text{CO}_3^{2-}]_{\text{co}} \quad (2)$$

$$1000 \cdot \chi_{\text{co}} = \lambda_{\text{Na}^+} \cdot [\text{Na}^+]_{\text{co}} + \lambda_{\text{OH}^-} \cdot [\text{OH}^-]_{\text{co}} + 2 \cdot \lambda_{\text{HPO}_4^{2-}} \cdot [\text{HPO}_4^{2-}]_{\text{co}} + \lambda_{\text{Cl}^-} \cdot [\text{Cl}^-]_{\text{co}} + (2 \cdot \lambda_{\text{CO}_3^{2-}} + \lambda_{\text{HCO}_3^-} \cdot 10^{-\text{pH}_{\text{co}}}/K_{\text{II}}^{\text{H}_2\text{CO}_3}) \cdot [\text{CO}_3^{2-}]_{\text{co}} \quad (3)$$

$$1000 \cdot \chi_{\text{H, co}} = (\lambda_{\text{H}^+} + \lambda_{\text{Cl}^-}) \cdot [\text{Cl}^-]_{\text{co}} + (\lambda_{\text{H}^+} + \lambda_{\text{H}_2\text{PO}_4}) \cdot [\text{HPO}_4^{2-}]_{\text{co}} \quad (4)$$

$$(1 + 10^{-\text{pH}_{\text{co}}}/K_{\text{II}}^{\text{H}_2\text{CO}_3}) \cdot [\text{CO}_3^{2-}]_{\text{co}} = [\text{Cl}^-]_{\text{co}} \cdot [\text{HCO}_3^-]_{\text{пв}} / (2 \cdot [\text{Cl}^-]_{\text{пв}}) \quad (5)$$

где, χ_{co} , $\chi_{\text{H, co}}$ - удельная электропроводность прямой охлажденной и Н-катионированной пробы, $\text{Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ (См/см); b – щелочной коэффициент, зависящий от присутствия в добавляемом в котел растворе тринатрий фосфата NaOH ($b = 1,0 \div 5$) или Na_2HPO_4 ($b = 0,5 \div 1,0$). При их отсутствии $b=1$ (режим чисто фосфатной щелочности).

Решение такой системы уравнений производится методом итерационных приближений с учетом коэффициентов концентрирования примесей по критерию электронейтральности ионов. Схема расчетного алгоритма представлена на рис. 2.

В феврале 2011 года приборы АХК работали в режиме «online», регистрируя изменения показателей качества теплоносителя (показания кондуктометров (χ и χ_{H} , мкСм/см) и рН-метров, установленных на пробоотборных линиях питательной, котловой вод и пара) барабанного котла №3 Ивановской ТЭЦ-3.

При этом данные с приборов поступали в систему сбора информации, обрабатывались по программе ИГЭУ разработанной на базе программы «MasterScada» и выводились на автоматизированное рабочее место аппаратчиков и начальника смены химического цеха.

На рис. 3 и рис. 4 представлены графики изменения расчетных концентраций избытка фосфатов в котловой воде чистого и солевого отсеков барабана котла.

Результаты промышленных испытаний системы автоматического химконтроля качества водного теплоносителя, проведенные на барабанном котле ТП-87 с давлением в барабане 13,8 МПа (ст. №3) с использованием приборов автоматического химконтроля ООО «ВЗОР» в период с 1.10.2010 по 15.05.2011. Некоторые типичные результаты прямых измерений χ и рН и косвенного определения избытка фосфатов в котловой воде приведены в табл. 1.

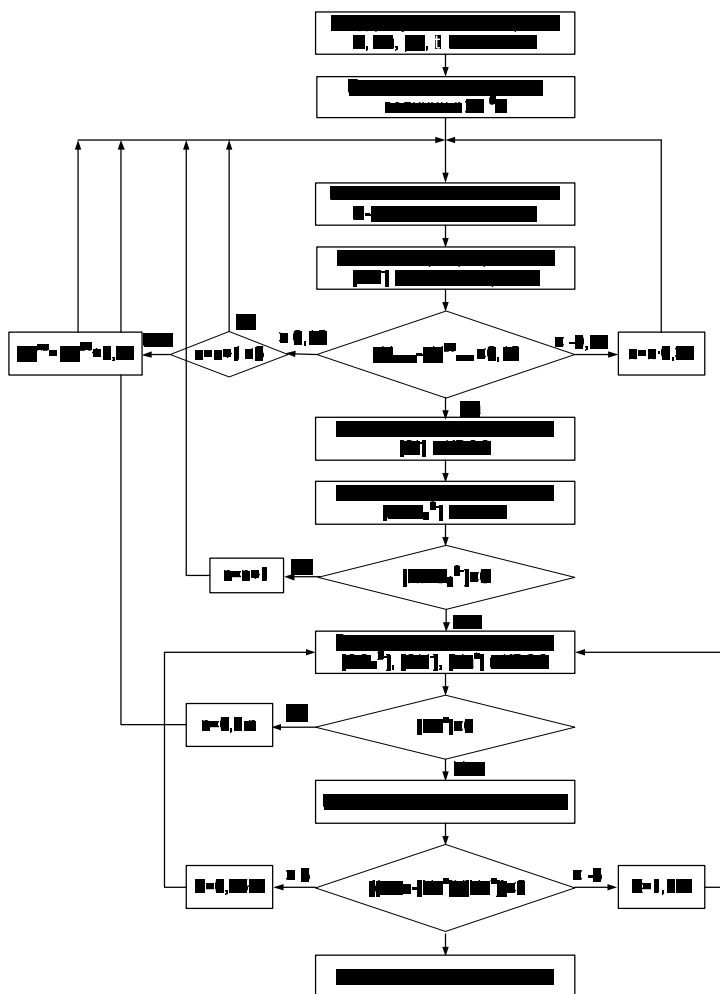


Рис. 2. Блок-схема алгоритма расчета показателей качества котловой воды солевого отсека барабанного котла.

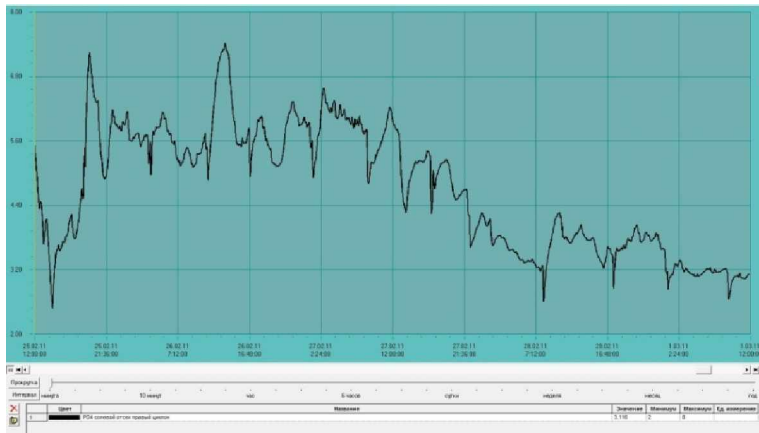


Рис. 3. График изменения концентрации избытка фосфатов в котловой воде солевого отсека барабанного котла №3 ИВТЭЦ-3 в период с 25.02.11 по 01.03.11.

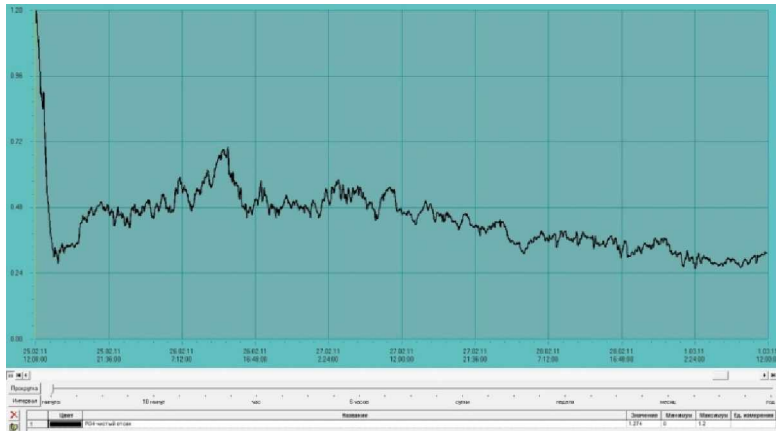


Рис. 4. График изменения концентрации избытка фосфатов в котловой воде чистого отсека барабанного котла №3 ИВТЭЦ-3 в период с 25.02.11 по 01.03.11.

Среднее отклонение расчетных и измеренных концентраций избытка фосфатов в солевом отсеке составляет 4,2 % в чистом отсеке барабана котла ТП-87 (ст. № 3) составляет 5,7 %, что можно считать приемлемым для практических целей автоматического химического контроля качества водного теплоносителя барабанного котла с давлением 13,8 МПа.

Таблица 1. Результаты косвенного определения избытка фосфатов в котловой воде солевого и чистого отсеков барабанного котла №3 ИвтЭЦ-3 по измерениям удельной электропроводности и рН

Дата Время	Питательная вода		Котловая вода солевой отсек						Котловая вода чистый отсек				
	χ	$\chi_{н}$	рН	$\chi_{с}$	$\chi_{н}$	PO ₄ , мг/л Расч.	PO ₄ , мг/л Ан.	Откл, %	рН	$\chi_{н}$, мкСм /см	PO ₄ , мг/л Расч.	PO ₄ , мг/л Ан.	Откл, %
	мкСм/см			мкСм/см									
01.11.10 03.00	3,54	0,268	10,55	94,46	38,11	9,07	8,9	1,9	9,67	3,81	0,738	0,7	5,1
01.11.10 11.00	3,56	0,263	10,5	85,76	32,79	7,25	6,9	4,85	9,66	3,71	0,678	0,7	3,2
01.11.10 19.00	3,54	0,315	10,34	54,90	19,49	4,33	4,4	1,5	9,5	1,88	0,559	0,6	7,3
14.01.11 03.00	3,50	0,182	10,55	97,57	38,34	7,27	7,0	3,8	9,79	3,46	0,738	0,7	5,1
14.01.11 11.00	3,47	0,177	10,55	95,33	39,22	6,50	6,9	6,0	9,79	3,48	0,743	0,7	5,8
14.01.11 19.00	3,22	0,201	10,44	74,48	29,76	7,09	6,9	2,7	9,74	3,15	0,652	0,6	7,9
21.03.11 03.00	3,66	0,262	10,44	73,99	22,12	5,08	4,8	5,6	9,89	2,90	0,668	0,7	4,8
21.03.11 11.00	3,91	0,267	10,51	86,97	24,79	5,74	5,9	2,7	9,84	2,44	0,566	0,6	6,0
21.03.11 19.00	3,69	0,3	10,47	80,21	22,59	5,23	5,7	8,8	9,8	2,35	0,535	0,5	6,5

Библиографический список

1. Emory H. Hill, Pobert D. Bartholomew Rigorous calculation of sodium-to-phosphate mole ratios for phosphate treatment programs / Power plant chemistry. – 2006, 8 (9), p. 526–536.
2. Исследование влияния концентрации фосфатов в котловой воде на электропроводность и рН / Т.И. Петрова, В.И., Кашинский, А.Е. Верховский и др. // Теплоэнергетика. 2007. №7. – С.6–9.
3. Ларин Б.М., Бушуев Е.Н., Тихомирова Ю.Ю., Киет С.В. Определение концентрации фосфатов в котловой воде путем измерения электропроводности // Теплоэнергетика. 2008. №7. С.21–27.
4. Патент РФ №2168172. Способ контроля качества конденсата и питательной воды // Н.А. Еремина, С.В. Киет, А.Н. Коротков и др. / Изобретение 2002. №12.
5. Патент РФ №2389014. Способ определения концентрации фосфатов в котловой воде барабанных энергетических котлов // Б.М. Ларин, Е.Н. Бушуев, А.Б. Ларин, Н.А. Еремина. / Зарегистрировано 10.05.2010.

**Б.М. Ларин, д.т.н., проф., А.Н. Коротков, к.т.н., доц.,
М.Ю. Опарин, к.т.н., доц. (ИГЭУ)**

ВОДНЫЙ РЕЖИМ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ОБОРОТНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ЭНЕРГОБЛОКОВ ТЭС

Для заполнения системы охлаждения статора (СОС) на энергоблоках тепловых электростанций используется глубоко обессоленная вода (турбинный конденсат после блочной обессоливающей установки (БОУ)) без аммиака и с минимальным содержанием кислорода. Изучению окислительных свойств такой воды посвящены работы зарубежных исследователей, а также и российских, обобщенные в циркуляре № Ц-10.85 (Э) [1]. Но в условиях эксплуатации энергоблоков ТЭС не всегда удается выдерживать нормы качества охлаждающей воды СОС и минимизировать коррозионные процессы на медных элементах, контактирующих с водой.

Водно-химический режим охлаждения статора генератора согласно [1] должен быть организован так, чтобы выполнялись нормы качества водного теплоносителя, приведенные в табл. 1.

Таблица 1. Нормы качества водного теплоносителя системы охлаждения обмоток статора электрогенератора

Нормируемый показатель	Допустимое значение показателя	Примечания
Водородный показатель рН	$8,5 \pm 0,5$	При рН < 8,0 рекомендуется сменить загрузку ФСД и (или) увеличить расход воды через ФСД
Удельная электропроводность X^{25} , мкСм/см	<5	
Содержание, мкг/кг:		
кислорода	≤ 400	-
меди	≤ 100	-
аммиака	Отсутствует	При наличии аммиака в добавочной воде концентрация кислорода должна быть снижена в 10 раз
Расход охлаждающей воды через ФСД, % $Q_{общ}$	1...5	-

Схема охлаждения обмотки статора электрогенератора водой по замкнутой системе показана на рис. 1. Циркуляционная вода с избыточным теплом после статора генератора поступает в вакуумный бак б, где отсасывается парогазовая смесь и восполняются потери охлаждающей

воды. Далее вода поступает на насос циркуляционных насосов 17, обеспечивающих прокачку воды через последовательно включенные теплообменники 15.

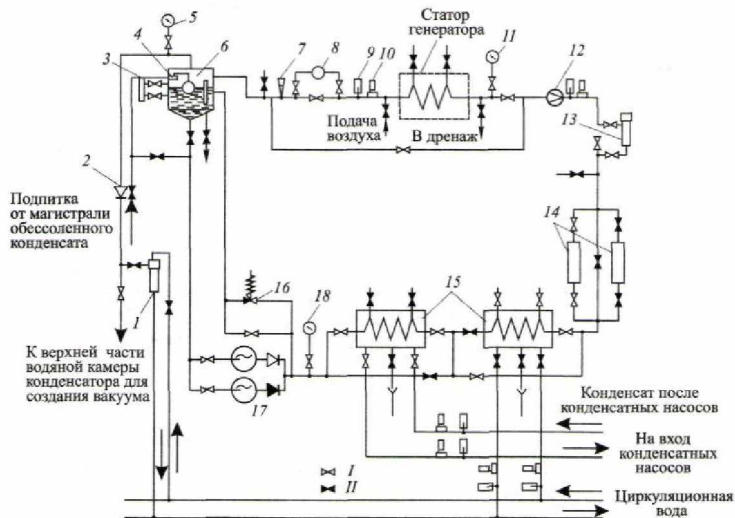


Рис. 1. Схема питания обмотки статора водой.

I - нормально открытый клапан; II - нормально закрытый клапан; 1 - инжектор; 2 - обратный клапан; 3 - реле уровня; 4 - регулятор уровня; 5 - вакуумметр; 6 - бак; 7 - термосигнализатор; 8 - струйное реле; 9 - ртутный термометр; 10 - термометр сопротивления; 11 - электроконтактный манометр; 12 - измерительная шайба; 13 - кондуктометр; 14 - фильтр; 15- теплообменник; 16 - предохранительный клапан; 17 - водяной насос; 18 - манометр

С напора циркуляционного насоса 5% общего расхода охлаждающей воды, что составляет около 2 т/ч, отводится на ионитный фильтр (14, основной и резервный), где вода проходит через смешанную загрузку из сильнокислотного катионита и сильноосновного анионита ядерного класса, находящегося в Na-OH-форме, для дополнительной очистки и повышения водородного показателя pH до нормируемого значения $8,5 \pm 0,5$. После такого фильтра смешанного действия (ФСД) поток возвращается на насос циркуляционного насоса и соединяется с основным потоком охлаждающей воды [2].

Согласно результатам химического анализа охлаждающей воды, выполненного на энергоблоках № 3-5 Конаковской ГРЭС можно заключить, что практически все показатели находятся в норме. Содержание меди и кислорода (основных характеристик процессов окисления) много меньше

допустимых норм, что обусловлено глубокой очисткой добавочной воды (конденсат после БОУ) и высокой плотностью СОС. Однако по водородному показателю происходят временные выходы за нижний предел нормы $pH = 8,0$. При этом в воде появляется другой коррозионный агент – свободная углекислота (CO_2).

Для повышения pH охлаждающей воды было предложено добавлять в нее гидроксид натрия. Персонал химического цеха примерно 1 раз в 10 дней вводит 1 л 0,4 %-ного раствора $NaOH$ в вакуумный бак, что дает возможность поддерживать нормативное значение pH охлаждающей воды, однако требует больших затрат времени и не исключает периодического выхода pH за нормируемые границы.

Работа бачка-дозатора $NaOH$, как и работа ФСД, в этом случае обеспечивается перепадом давления на напоре и всасе циркуляционного насоса (НОС). Однако предложенное решение не обеспечивает устойчивого поддержания значения pH в нормируемых пределах и зависит от концентрации раствора $NaOH$. Для обеспечения автоматизированного дозирования $NaOH$ в охлаждающую воду необходимо вместо запорного вентиля 2 поставить регулируемый, который в дальнейшем может быть заменен шайбовым дозатором. После регулирующего вентиля следует установить запорный клапан с автоматическим приводом. Сигнал об открытии-закрытии клапана должен поступать от кондуктометра (солемера), штатно установленного на общей линии охлаждающей воды после статора генератора (см. рис. 1). При снижении удельной электропроводности до значения 1,0 мкСм/см клапан должен открываться, при ее увеличении до 2,0 мкСм/см - закрываться.

В других случаях в системах замкнутого контура систем охлаждения происходят интенсивные коррозионные процессы, как например в системе охлаждения замкнутого контура вспомогательных механизмов блока № 1 Ивановских ПГУ.

Система охлаждения замкнутого контура (СОЗК) вспомогательных механизмов энергоблока Ивановских ПГУ является типичной закрытой системой охлаждения с объемом контура 275 м³ и температурой среды 40 °С с трубопроводами, выполненными из углеродистой стали.

Для исключения завоздушивания водяных камер воздухоохладителей статора и ротора электрогенераторов ПТ и ГТ и, вследствие этого, перегрева обмоток генераторов, по решению ОАО «Электросила» обеспечивается постоянный минимальный расход воды из СОЗК через воздушники воздухоохладителей генераторов со сбросов воды в дренажные приемки.

Согласно результатам химических анализов за 2008...2009 г.г., можно заключить, что имеет место высокая скорость коррозии конструкционных материалов СОЗК, характеризующаяся концентрацией железа в циркуляционной воде временами до 30000 мкг/л (рис. 2).

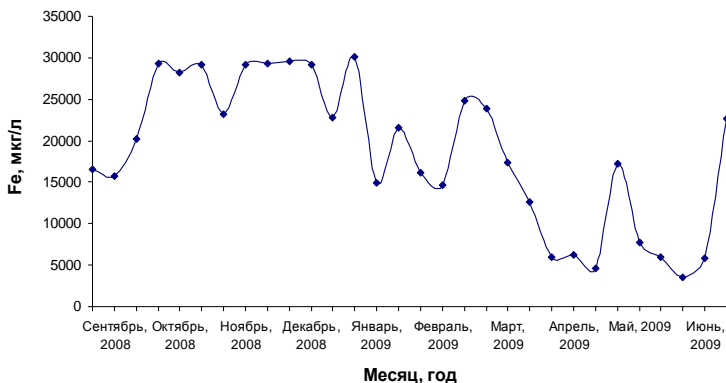


Рис. 2. Показатели качества охлаждающей воды системы охлаждения замкнутого контура ИВПГУ по содержанию соединений железа.

С целью определения характера коррозии металла и состава отложений была произведена вырезка трубопровода охлаждающей воды СОЗК с проведением последующих анализов.

Анализ снятых отложений показал, что глубина коррозионного разрушения металла составляет $0,10 \div 0,15$ мм, что позволяет характеризовать коррозию как сильную. Основную массу отложений составляют продукты коррозии конструкционной стали при небольших включениях солей жесткости и кремниевой кислоты.

На основании проведенных исследований были рекомендованы следующие мероприятия по предотвращению (снижению) скорости коррозии металла СОЗК.

1. Очистка контура от продуктов коррозии путем химической промывки.
2. Применение ингибитора коррозии для дозирования в контур на основе сульфита натрия.
3. Герметизация бака-аккумулятора, предотвращение поступления атмосферного воздуха в охлаждающую воду.
4. Сокращение потерь охлаждающей воды.

Был получен и проверен на охлаждающей воде в лабораторных условиях реагент АМИНАТ КО-2, изготовленный на основе сульфита натрия.

Проводились 2 серии опытов с тремя пробами в каждой серии:

1-ая проба – образцы в охлаждающей воде без реагента и с доступом воздуха;

2-ая проба – образцы в охлаждающей воде, обработанной реагентом АМИНАТ КО-2 без доступа воздуха;

3-я проба – образцы в охлаждающей воде, обработанной реагентом АМИНАТ КО-2 с доступом воздуха.

Первая из двух серий длилась 10 дней, вторая 20 дней.

Образцы находились в воде в условиях периодического перемешивания. Результаты опытов представлены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты лабораторных опытов по снижению скорости коррозии образцов стали ст. 3 дозировкой в пробу реагента АМИНАТ КО-2

	Средняя потеря массы образца, мг	Концентрация Fe в воде, мг/л		Концентрация кислорода в воде, мг/л	
		Исходная проба	После опытов	Исходная проба	После опытов
1-ая проба	0,05	11,9	160	5,2	3,7
2-ая проба	0,02	11,9	59	0,01	1,2
3-я проба	0,05	11,9	160	0,01	3,7

Из табл. 2 видно, что применение ингибитора АМИНАТ КО-2 позволяет существенно уменьшить скорость коррозии образцов конструкционного металла в условиях отсутствия доступа воздуха в воду (следует отметить, что в лабораторных опытах нам не удалось полностью предотвратить доступ воздуха в закрытую пробу). В то же время видно, что действия АМИНАТа КО-2 при свободном доступе воздуха к воде (проба 3) не обеспечивает снижение скорости коррозии при 20-ти дневных испытаниях, хотя после 10-ти дневных испытаний скорость коррозии образцов была меньше, чем в пробе 1, не содержащей ингибитора.

Библиографический список

1. **Об организации** водно-химического режима системы охлаждения обмоток статоров турбо- и гидрогенераторов. М: СПО ОРГРЭС, 1985.
2. **Ларин Б.М., Ларин А.Б., Опарин М.Ю., Коротков А.Н.** Водный режим системы охлаждения статора электрогенератора энергоблока ТЭС // Теплоэнергетика. 2011. № 7. С. 17-20.

*Ю.К. Коломиец, инж.
(РУП «Витебскэнерго» филиал Оршанская ТЭЦ)*

КОНСЕРВАЦИЯ ТРУБОПРОВОДОВ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ ОСУШЕННЫМ ВОЗДУХОМ

При длительных простоях оборудования возникает необходимость защиты деталей энергетического оборудования от коррозии.

Предложенная полезная модель относится к области теплоэнергетики и может быть использована для консервации трубопроводов тепловых сетей при остановке теплоэнергетического оборудования в резерв на различные сроки, например, в межотопительный период, или в ремонт.

Известен, описанный в патенте RU 2101608, способ консервации полых металлических элементов теплоэнергетического оборудования заключающийся в подаче в консервируемый объект сухого воздуха при температуре, соответствующей температуре окружающего объект воздуха, для этого перед подачей в консервируемый объект воздух последовательно подвергают сжатию до 3–15 кгс/см² при последующем охлаждении его до температуры окружающего объект воздуха, удаляют образовавшуюся влагу и дросселируют до давления 0,5–1,5 кг/см², регулируют расход и распределение воздуха в объекте расход воды на воздухоохладитель, при этом консервацию начинают после удаления влаги из объекта. Данный способ реализуется с помощью системы консервации полых металлических элементов теплоэнергетического оборудования, содержащей трубопровод подвода воздуха с нагнетателем воздуха, консервируемый объект и линию сброса воздуха с запорными органами; на воздухоподводящем трубопроводе перед консервируемым объектом дополнительно установлены последовательно соединенные поверхностный воздухоохладитель, сепаратор с влагоотделяющим устройством и регулирующий давление в объекте дроссельный клапан, а на консервируемом объекте установлены отводы воздуха с дроссельными клапанами из каждой отдельной части его внутреннего объема.

Данное устройство имеет ряд недостатков заключающихся в необходимости охлаждения воздуха до температуры окружающей среды, что является энергетически затратным для изолированных трубопроводов тепловых сетей; предлагаемое устройство проявляет низкую эффективность удаления сконденсированной влаги в местах прогиба изолированных трубопроводов и не предусматривает контроль за ходом коррозионных процессов внутренних поверхностей трубопроводов.

Задачей заявляемой полезной модели является создание системы консервации трубопроводов тепловых сетей, позволяющей надежно, в короткие сроки и с минимальными экономическими затратами произвести консервацию трубопровода с возможностью осуществления контроля за процессами коррозии на консервируемых участках.

Поставленная задача решается предложенной системой консервации трубопроводов тепловых сетей, содержащей

- участок трубопровода, подлежащего консервации, с установленной на нем запорной арматурой и дренажными устройствами;

- устройство подвода воздуха, содержащее последовательно соединенные источник сжатого воздуха, маслолагодотделитель, и по меньшей мере одно устройство осушения и тонкой очистки воздуха с силикагелем;

- и источник вакуума, подключенный через дренажное устройство;

при этом трубопровод, подлежащий консервации, дополнительно оснащен индикаторами коррозии.

Участок трубопровода может представлять собой как участок подающего трубопровода, так и обратного трубопровода а теплоцентрали или конденсаторпровода, или любую их комбинацию.

Источник сжатого воздуха может быть представлен в виде компрессора или внутростанционной сети сжатого воздуха. Маслолагодотделитель, позволяет осуществлять удаление капель влаги и масла, проникающего в систему трубопроводов из системы смазки механизмов источника сжатого воздуха. Устройство осушения и тонкой очистки воздуха с силикагелем может быть выполнено в виде фильтра-осушителя, наполнителем которого служит силикагель. Фильтр очищает воздух от механических частиц и осуществляет высокую степень осушки воздуха без значительных энергозатрат.

Установленный в системе источник вакуума обеспечивает понижение давления в консервируемом трубопроводе, что вызывает испарение жидкости в местах прогиба трубопроводов и эффективное её удаление, как в жидкой, так и паровой фазах. Источник вакуума в частном варианте воплощения заявленной полезной модели может быть представлен в виде вакуумной машины.

Частный случай реализации заявляемого устройства схематически представлен на рис.1, и включает трубопровод 1 с запорной арматурой 2 и дренажными узлами 3,4, устройство подвода воздуха 5, включающее источник сжатого воздуха 6, маслолагодотделитель 7, устройство осушения и тонкой очистки воздуха с силикагелем 8, вакуумная машина 9, индикаторы коррозии 10.

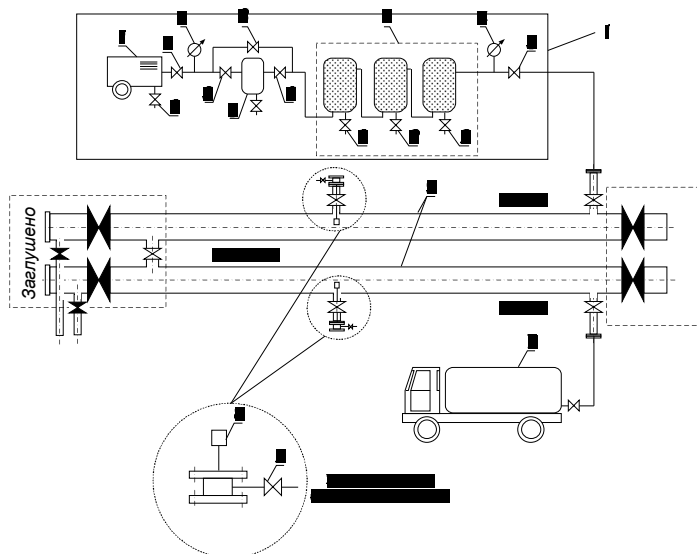


Рис. 1. Устройство консервации оборудования тепловых сетей

Работает устройство следующим образом. Производят изоляцию части трубопровода 1, подлежащего консервации, с помощью запорной арматуры 2, через дренажные устройства 3, 4 производится удаление сетевой воды.

Устройство подвода воздуха 4, содержащее последовательно соединенные источник сжатого воздуха 5, маслоотделитель 6, и устройство осушения и тонкой очистки воздуха с силикагелем 7, присоединяется через один из дренажных узлов 3.

Затем сжатым осушенным воздухом при давлении от 6 до 10 МПа, производится продувка части трубопровода 1 до тех пор, пока через второй дренажный узел 4 не прекратит выходить вода, и влажность выходящего воздуха, проверяемая гигрометром, не будет равна влажности воздуха, подаваемого устройством подвода воздуха 4.

Затем через второй дренажный узел 3 присоединяется источник вакуума, например, вакуумная машина. Далее при перекрытом дренажном узле 3 в трубопроводе с помощью источника вакуума создается вакуум от $-0,01$ до $-0,05$ МПа.

Предпочтительно произвести выдержку вакуума в течение 2х часов, после чего вакуумный насос отключается и дренажный узел 4 перекрывается.

вается. Через дренажный узел 3 в трубопровод устройством подвода воздуха подается сжатый воздух.

Трубопровод законсервирован и находится под избыточным давлением.

Для восполнения возможных утечек воздуха источник сжатого воздуха может периодически включаться автоматически или вручную.

Индикаторы коррозии 10 позволяют вести контроль за состоянием внутренних поверхностей консервируемых трубопроводов.

Дополнительно устройство может быть снабжено манометром 11 для контроля давления, и дополнительными дренажными узлами 12 для удаления влаги от масловлагоотделителя и фильтров-осушителей.

Т.М. Фарахов, А.Р. Исхаков, асп. (КГЭУ)

КОМПЛЕКСНАЯ ОЧИСТКА ГАЗОВ НА ТЭС

В процессе производства тепловой энергии на большинстве тепловых электростанциях России в качестве энергетического топлива в настоящее время используется природный газ, в результате горения которого, как и любого другого органического топлива, происходят выбросы дымовых газов в атмосферу. Таким образом, как на входе, так и на выходе технологического процесса производства тепла присутствуют газообразные среды. В настоящей работе уделяется внимание очистки данных газообразных сред от нежелательных примесей.

Так, в природном газе содержится некоторое количество капельной влаги (до 5% масс.), что негативно сказывается на его горении, приводит к коррозии внутренних поверхностей трубопроводов и теплоэнергетического оборудования. Более того, при движении газожидкостной смеси вдоль стенок аппаратов происходит осаждение дисперсной фазы на поверхностях оборудования, в результате ухудшаются гидродинамические и массообменные характеристики. Со временем количество этих отложений увеличивается вследствие коалесценции или коагуляции. [1,2]

Удаление капельной влаги из газовых сред осуществляется в так называемых сепараторах осушки газа. Разработан комбинированный сепаратор осушки газов от капельной влаги (рис. 1) [3].

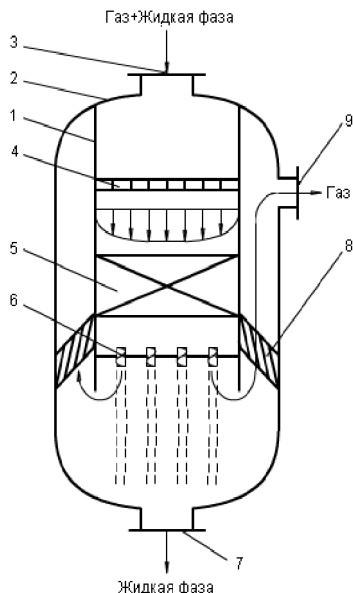


Рис. 1. Сепаратор осушки газов от капельной влаги:

1 – внутренняя труба, 2 – корпус, 3 – входной патрубок, 4 – направляющая решетка, 5 – секция нерегулярных насадок, 6 – трубки с ленточным завихрителем, 7 – патрубок выхода отделенной жидкой фазы, 8 – сетчатый демистер, 9 – патрубок выхода осушенного газа.

Сепаратор работает следующим образом. Исходная газожидкостная смесь поступает во внутреннюю трубу 1 сепаратора через патрубок 3. Далее смесь, минуя направляющую решетку 4, где происходит выравнивание потока, поступает на секцию нерегулярных насадок “Инжехим-2000” [1] 5, где происходит укрупнение капель жидкости. После секции насадок смесь проходит через трубки с ленточным завихрителем 6. Жидкая фаза осаждается на внутренней стороне стенок трубок за счет центробежной силы (при скорости газа больше 30 м/с), вызванной ленточным завихрителем, и стекает в нижнюю часть аппарата под действием силы тяжести. Через патрубок 7 отделенная жидкость покидает аппарат. Очищенный газ через сетчатый демистер 8, предотвращающий вторичный унос жидкой фазы, покидает внутреннюю трубу 1 и выходит из аппарата через патрубок 9.

Разработанный сепаратор обеспечивает высокую эффективность (99%) удаления жидких частиц размером более 5 мкм, имея при этом от-

носителем небольшие геометрические размеры и низкое гидродинамическое сопротивление, а следовательно и энергозатраты на эксплуатацию.

Охрана воздушного бассейна является актуальной проблемой защиты окружающей среды, так как загрязненный воздух обладает наибольшей пространственной мобильностью по сравнению с другими составляющими среды. При сжигании органического топлива на ТЭС происходят выбросы дымовых газов, которые содержат нежелательные примеси. Помимо прочих к ним относятся оксиды азота, оксиды серы и углекислый газ. Наличие данных веществ в атмосфере приводит к разрушению озонового слоя, образованию фотохимических туманов (смога), эрозии почв, уничтожению флоры, вызывает различные заболевания у человека.

На данный момент существует большое количество технологий очистки дымовых газов, основанных на различных физических и химических принципах [4]. Одним из наиболее эффективных способов очистки газов является процесс абсорбции. При относительно небольших расходах дымовых газов целесообразно использовать аппараты насадочного и тарельчатого типов. Разработан насадочный абсорбер для комплексной очистки дымовых газов от оксидов азота, оксидов серы и углекислого газа (рис. 2) [5-6].

Предлагаемый массообменный аппарат состоит из двух секций насадки и глухой тарелкой между ними. Дымовые газы поступают через патрубок 2 в абсорбер 1. Далее они проходят через секцию насадки 3, где происходит их очистка от оксидов азота и оксидов серы с использованием в качестве поглотителя технической воды, поступающей в патрубок 4 и стекающей вниз по насадочному слою 3. Далее дымовые газы, минуя «глухую» тарелку 5, проходят через секцию насадки 6, где происходит их очистка от диоксида углерода, поглощаемого раствором моноэтаноламина, поступающего в абсорбер через патрубок 7. Очищенные дымовые газы покидают по насадочному слою 3. Далее дымовые газы, минуя «глухую» тарелку 5, проходят через секцию насадки 6, где происходит их очистка от диоксида углерода, поглощаемого раствором моноэтаноламина, поступающего в абсорбер через патрубок 7. Очищенные дымовые газы покидают массообменную колонну через патрубок 8. Отработанные абсорбенты МЭА и техническая вода выходят из колонны через патрубки 9 и 10 соответственно.

Аппарат работает в пленочном режиме при малых скоростях газа. Таким образом, отсутствует влияние газового потока на скорость стекания по насадке жидкой пленки и, следовательно, на количество задерживаемой в насадке жидкости.

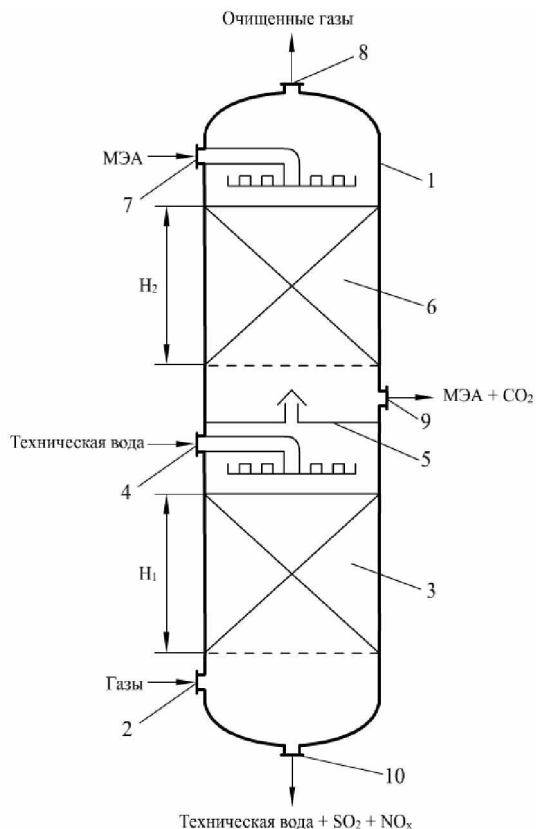


Рис. 2. Абсорбер для комплексной очистки дымовых газов:
1 – абсорбер, 2, 4, 7 – входные патрубки, 8, 9, 10 – выходные патрубки, 3 – секция насадки для улавливания SO_2 и NO_x с высотой H_1 , 6 – секция насадки для улавливания CO_2 с высотой H_2 , 5 – «глухая» тарелка.

Таким образом, разработаны массообменные аппараты, которые очищают газовые среды, присутствующие на тепловых электростанциях. Использование данных аппаратов затрагивает ресурсосберегающие и природоохранные мероприятия на ТЭС.

Библиографический список

1. Лаптев А.Г., Фарахов М.И. Разделение гетерогенных систем в насадочных аппаратах. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2006. – 342с.
2. Тараскин М.М., Исааков А.Р. Определение эффективности очистки газов от тонкодисперсной жидкой фазы. Сб. трудов XXIV Междунар. науч. конф.: в 10 т. Т.4. Секция 4. – Киев: национ. техн. ун-т Украины «КПИ», 2011. – с. 116-117.
3. Решение о выдаче патента на полезную модель по заявке № 2011125495/05 (037613) от 21.06.2011 "Сепаратор осушки газов от капельной влаги". Лаптев А.Г., Башаров М.М., Тараскин М.М., Исааков А.Р.
4. Лаптев А.Г., Фарахов М.И. Гидромеханические процессы в нефтехимии и энергетике. – Казань: Изд-во Казанск. гос. ун-та, 2008. - 729 с.
5. Зверева Э.Р., Фарахов Т.М., Исааков А.Р. Очистка газовых выбросов тепловых электростанций от диоксида углерода насадочными абсорберами. Энергетика Татарстана. 2010, №4. С. 46-49.
6. Зверева Э.Р., Исааков А.Р., Фарахов Т.М. Моделирование насадочного абсорбера для комплексной очистки дымовых газов тепловой электростанции. Сб. трудов XXIV Междунар. науч. конф.: в 10 т. Т.8. Секция 12. – Пенза: Пенз. гос. технол. академия, 2011. – с. 146-149.

*О.Н. Кулиш, проф., д.т.н., С.А. Кужеватов, к.т.н., ст. науч. сотр.,
М.Н. Орлова, к.т.н., ст. науч. сотр., Е.В. Иванова, инж.
(РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина)*

НЕКАТАЛИТИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА ДЫМОВЫХ ГАЗОВОТ ОКСИДОВ АЗОТА

Уменьшение выбросов оксидов азота (NO_x) при сжигании топлива - одна из важнейших научно-практических экологических задач. Решение этой проблемы особенно актуально для отраслей, характеризующихся высоким уровнем потребления топлива: теплоэнергетики, нефтехимии и нефтепереработки, химии, металлургии и др.

В течение последних десятилетий в мире отмечается устойчивая тенденция к ужесточению норм по выбросам оксидов азота.

Обеспечить современные требования по выбросам NO_x с дымовыми газами топливосжигающих установок в большинстве случаев возможно лишь при использовании специальных химических методов очистки газов, в частности, методов селективного каталитического (СКВ) или некаталитического (СНКВ) восстановления оксидов азота.

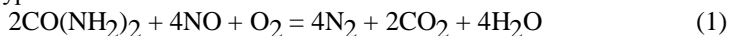
Эффективность очистки газов этими методами составляет около 90 %. При этом существенным преимуществом некаталитических способов

очистки является отсутствие катализатора и реактора для его размещения, что ведет к уменьшению удельных затрат на очистку дымовых газов примерно на порядок по сравнению с каталитическими способами.

Традиционные процессы селективного высокотемпературного некаталитического восстановления (СНКВ) основаны на избирательном взаимодействии оксидов азота с аминсодержащими восстановителями в газовой фазе при температуре 850 – 1050 °С [1-3]. В качестве восстановителей оксидов азота используются, как правило, аммиак или карбамид.

Опыт показывает, что предпочтительным является использование карбамида в качестве восстановителя оксидов азота в связи с тем, что он, в отличие от аммиака, представляет собой нетоксичное, непожароопасное и невзрывоопасное соединение, которое не требует особых условий при хранении, транспортировке и эксплуатации.

Реакция восстановления NO карбамидом может быть выражена в общем виде уравнением:



Степень превращения оксида азота в молекулярный азот в высокотемпературном процессе восстановления имеет ярко выраженную температурную зависимость. Зависимость эффективности высокотемпературного некаталитического процесса очистки от температуры приведена на рис. 1.

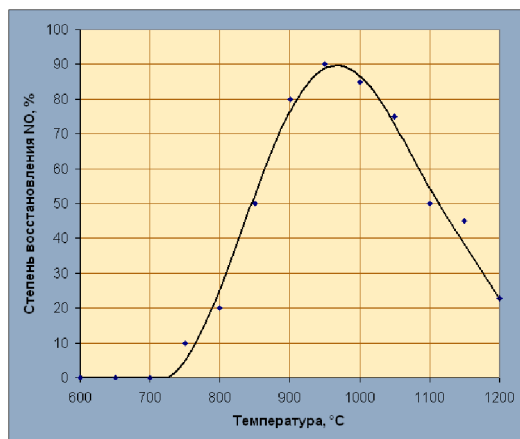


Рис. 1. Зависимость степени восстановления NO от температуры в высокотемпературных СНКВ-процессах

Максимальная степень восстановления оксидов азота достигается в диапазоне температур от 900 до 1050 °С. Уменьшение или увеличение температуры дымовых газов приводит к снижению эффективности процесса очистки.

Данные по снижению концентрации оксидов азота в дымовых газах энергетических котлов с применением системы СНКВ, приведенные в табл. 1 [4], свидетельствуют, что в промышленных условиях эффективность очистки дымовых газов от оксидов азота составляет 30-60%.

Таблица 1. Результаты внедрения установок СНКВ на объектах энергетики

Предприятие	Тип котла	Мощность, МВт	Начальная концентрация NO_x , мг/м ³	кон- NO_x	Эффективность очистки, %
ТЭС Andra (Австрия)	буро-угольный	110	-	-	50
ТЭС Voitsberg (Австрия)	-	220	-	-	60
ТЭС Riedersbach (Австрия)	-	160	300-350	-	40
ТЭС Weisweiler (Австрия)	-	75	220-250	-	40
ТЭС Mercer (США)	-	80-321	-	-	30-50
ТЭС B.L. England (США)	-	138	-	-	30
ТЭС Arapahoe Unit (США)	пыле-угольный	100	-	-	45
ТЭЦ Vitkovice (Чехия)	каменно-угольный	215	600	-	60
ТЭЦ Strakonice (Чехия)	буро-угольный	27	600	-	50
ТЭЦ Usti n. L. (Чехия)	буро-угольный	160	750	-	50
Котел Rafako (Германия)	угольный	135-225	300-320	-	30-40

В РГУ нефти и газа имени И. М. Губкина выполнен комплекс работ, направленных на повышение эффективности СНКВ-технологии в промышленных условиях. Установлено, что степень восстановления оксидов азота зависит от четырех основных условий проведения процесса: температуры в зоне восстановления NO_x ; необходимого времени пребывания восстановителя в зоне оптимальной температуры; количества вводимого восстановителя; качества распределения восстановителя в потоке очищаемых газов. Причем, каждое из этих условий является необходимым, но недостаточным, поэтому максимально возможная степень восстановления NO_x в процессах СНКВ (до 80 – 90 %) и в лабораторных, и в промышленных условиях достигается только при сочетании оптимальных значений всех вышеперечисленных параметров.

На основе разработок РГУ нефти и газа имени И. М. Губкина внедрено более 70 промышленных установок некаталитической очистки дымовых газов на технологических печах конверсии природного газа, паровых и мусоросжигательных котлах и других энерготехнологических агрегатах с объемом очищаемых газов от 10000 до 400000 м³/ч в России, Украине, Белоруссии, Узбекистане, Литве, Израиле (табл. 2). Эффективность очистки в промышленных условиях составляет от 75 до 90 %.

Таблица 2. Результаты промышленного внедрения установок некаталитической очистки дымовых газов от оксидов азота, разработанных в РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина

Предприятие, тип агрегата, объем очищаемых газов, тыс. м ³ /ч	Число установок	Содержание NO _x , мг/м ³	
		до внедрения	после внедрения
Невинномысское АО «Азот», печи риформинга метана, 350 - 400	2	520 - 700	120 - 150
Кемеровское АО «Азот», печи риформинга метана, 350-400	3	750 - 820	130 - 150
АО «Тольяттиазот», печи риформинга метана, 350 - 400	3	480 - 560	100 - 130
Россошанский химический завод, печи риформинга метана, 350 - 400	2	400 - 600	50 - 120
Новомосковская агрохимкомпания, печи риформинга метана, 350 - 400	3	520 - 550	130 - 160
Березниковское АО «Азот», печи риформинга метана, 350-400	2	450 - 500	70 - 100
Новгородское АО «Акрон», печи риформинга метана, 350-400	2	500 - 700	120 - 150
Дорогобужский завод минеральных удобрений, печь риформинга метана, 350 - 400	1	800-900	120 - 150
Череповецкий завод минеральных удобрений, печи риформинга метана, 350 - 400	2	450 - 500	90 - 150
АО «Салаватнефтеоргсинтез», печь риформинга метана, 350 - 400	1	700 - 800	70 - 100

Секция «Технология водоподготовки, ВХР и химконтроль на ТЭС и АЭС»

Кирово-Чепецкий химкомбинат, печи риформинга метана, 350 - 400	2	900 - 1000	100 - 120
Кемеровское АО «Азот», паровые котлы, 50	3	400 - 550	100 - 150
Тепловая электростанция, работающая на твердых бытовых отходах (Московский мусоросжигательный завод № 2), 40 – 50	3	450 - 600	60 - 100
Украина			
Северодонецкое АО «Азот», печи риформинга метана, 350 – 400	2	350 - 1100	90 – 120
Одесский химический завод, печи риформинга метана, 350 – 400	2	600 - 1000	120 - 150
Днепродзержинское АО «Азот», печи риформинга метана, 350 - 400	2	550 - 830	110 - 130
Горловское АО «Стирол», печи риформинга метана, 350 - 400	3	500 - 1200	90 - 150
Черкасское АО «Азот», печь риформинга метана, 350 - 400	1	400 - 600	120 - 150
Северодонецкое АО «Азот», паровые котлы, 100	4	350 - 400	100 – 150
Северодонецкое АО «Азот», печи дожига паров акролеина, 20	2	450 - 500	80 - 100
Белоруссия			
Гродненское АО «Азот», печь риформинга метана, 350 - 400	2	250 - 300	50 - 70
Литва			
Йонавское АО «Азот», печь риформинга метана, 350 - 400	1	250 - 350	70 - 90
Узбекистан			
Ферганское АО «Азот», печь риформинга метана, 350 - 400	1	800 - 1200	150 - 180
Чирчикское АО «Азот», печь риформинга метана, 350 - 400	1	700 - 1200	120 - 150
Израиль			
Нефтеперерабатывающий завод (г. Хайфа), нагревательная печь, 25-30	3	300-400	15-50

Автоматизированная система некаталитической очистки газов с использованием в качестве восстановителя карбамида реализована на трех

технологических линиях Московского мусоросжигательного завода №2 [5]. Технологическая схема системы очистки приведена на рис. 2.

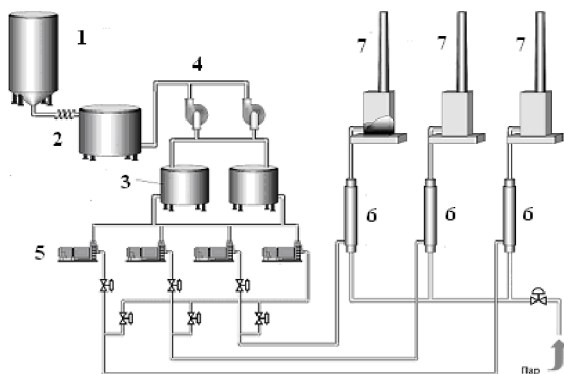


Рис.2. Технологическая схема системы очистки дымовых газов от NOx на Московском мусоросжигательном заводе № 2:

1-хранилище твердого карбамида; 2-емкость для приготовления раствора карбамида; 3-рабочие емкости раствора карбамида; 4-перекачивающие насосы; 5-насосы-дозаторы; 6-смеситель; 7-котел

Твердый карбамид из хранилища 1 с помощью винтового питателя поступает в емкость для приготовления раствора 2, куда одновременно подается химочищенная вода. Приготовленный раствор карбамида автоматически по сигналу датчика уровнемера перекачивающими насосами 4 поступает в рабочие емкости 3, затем насосами-дозаторами 5 подается в смесители 6.

Полученная в смесителях 6 восстановительная смесь посредством специальной распределительной системы вводится в расчетную температурную зону топочной камеры мусоросжигательных котлов.

Эффективность очистки газов составляет от 70 до 85 % в зависимости от режима работы котлов.

По основным технологическим показателям система очистки превосходит зарубежные аналоги, а ее стоимость примерно на порядок ниже. Внедрение технологии очистки на Московском мусоросжигательном заводе № 2 обеспечило экономию средств около 4 млн. долларов США.

Полученные результаты показывают возможность обеспечения современных нормативов по выбросам оксидов азота с дымовыми газами тепловых агрегатов при сжигании различных видов топлива с помощью

технологии СНКВ без использования дорогостоящих каталитических методов очистки.

Библиографический список

1. Кулиш О.Н., Кужеватов С.А., Бородина Е.В., Куценко Е.В. Перспективы развития технологии некаталитической очистки дымовых газов от оксидов азота// Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2005. №3. С. 49-54.
2. Layton R.K.// J. Chemical kinetic. 1978. №8. P.315-318.
3. Siebers D.L., Caton J.A. Comb. And Flame 79. 32. 1990.
4. Ходаков Ю.С. Оксиды азота и теплоэнергетика: проблемы и решения. М.: ООО «ЭСТ-М» 2001г.
5. Кулиш О.Н., Систер В.Г., Кужеватов С.А. и др. Некаталитическая очистка дымовых газов от оксидов азота: результаты промышленного внедрения// Экология и промышленность. 2004. №4.

Р.Е. Липантьев, асп., В.П. Тутубалина, д.т.н., проф. (КГЭУ)

ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ МЕТОД УДАЛЕНИЯ СЕРНИСТЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ МАЗУТА

Добыча сернистой и высокосернистой нефти от общей добычи нефти Российской Федерации составляет 13,5 % и значительно увеличивается за счет разработки новых месторождений Волго-Уральского региона. Например, в Татарстане доля тяжелой нефти превышает 35 %, в Пермской области – 58 %, в Удмуртии – 83 %. Этот фактор не мог не повлиять на качество жидкого котельного топлива, т.к. мазут является остаточным продуктом перегонки нефти и практически не подвергается очистке [1].

Сжигание мазута с высоким содержанием серы на тепловых электрических станциях сопровождается интенсивным золоотложением на поверхностях нагрева котельных агрегатов, выделением огромного количества серосодержащих веществ в продуктах сгорания и высоким коррозионным износом хвостовых поверхностей нагрева котла [2, 3].

Целью работы является использование энергосберегающего устройства для электродугового расщепления мазута в процессе топливоподготовки на электрических станциях. В результате применения этого устройства достигается высокая степень обессеривания мазута и снижается его вязкость.

Устройство для подготовки высокосернистых мазутов к сжиганию содержит электродуговой реактор, снабженный неподвижными и подвижными электродами. На рис. 1 приведен общий вид устройства.

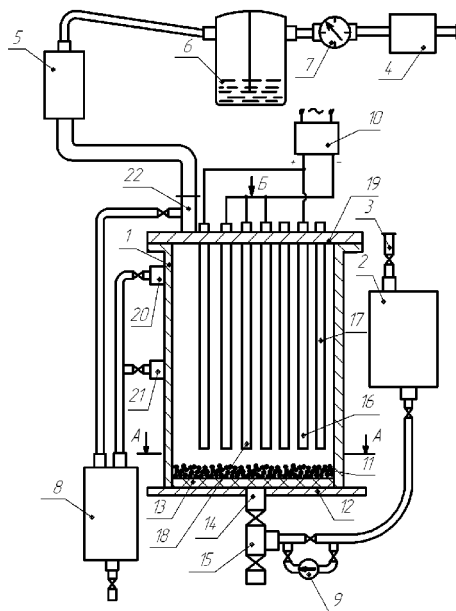


Рис. 1. Общий вид установки

Оно включает в себя: 1 – электродуговой реактор; 2 – напорный бак; 3 – линию топлива; 4 – адсорбер; 5 – холодильник; 6 – барботер; 7 – газовый счетчик; 8 – сливной бак; 9 – насос байпасной линии; 10 – преобразователь электрического тока. Электродуговой реактор имеет: 11 – графитовый электрод; 12 – основание; 13 – перфорированную изолирующую решетку; 14 – штуцер с перфорированным диском-решеткой; 15 – тройник; 16 – неподвижный положительный электрод; 17 – неподвижный неподключенный электрод; 18 – неподвижный отрицательный электрод; 19 – крышка реактора; 20 – переливной штуцер; 21 – штуцер подачи обессеренного топлива; 22 – штуцер для выхода газа.

Предварительно подогретый мазут, поступаая из линии топлива 3, попадает в напорный бак 2, после чего, за счет разности гидростатических давлений напорного бака 2 и электродугового реактора 1, поступает по

трубопроводу в тройник 15, а за тем в штуцер с перфорированным диском-решеткой 14, служащим для подачи мазута в электродуговой реактор. Для поддержания и возможного увеличения давления мазута в случае снижения его температуры до нижнего предела текучести, установлен насос байпасной линии 9.

В электродуговом реакторе, обессеривание мазута происходит в электрической дуге, вызванной колебательными движениями подвижных графитовых электродов 11, имеющих форму шарика, между неподвижными электродами 16, 17, 18 из нержавеющей стали. В электродуговом разряде под воздействием высоких температур, достигающих в искре 1500 °С, происходит избирательное разрушение сернистых соединений с последующим их переходом в парогазовое состояние. В электродуговом реакторе, подвергают десульфированию сернистые топлива в межэлектродном промежутке в электродуговом разряде подвижных насыпных графитовых электродов, расположенных над перфорированной изолирующей решеткой 13 из полимерного материала, обладающего диэлектрическими свойствами и высокой термостойкостью. При этом неподвижные электроды 16, 18 электрически соединены между собой и расположены вертикально на расстоянии достаточном для свободного перемещения графитового электрода. Реактор содержит четыре положительных, четыре отрицательных и четыре неподключенных неподвижных электродов из нержавеющей стали, верхние концы которых закреплены непосредственно в его крышке 19, а их нижние концы находятся над слоем подвижных графитовых частиц, выполняющих функцию подвижных электродов. Такой порядок размещения электродов стабилизирует микроархивы, увеличивая их в объеме, поскольку одновременно возникает множество центров параллельных и перекрестных микродуг в промежутках между соседними электродами. Более того, плотность электрических разрядов в объеме мазута увеличивается за счет образования множества электродуг не только около нижних концов токопроводящих электродов, но и при контакте их по всей рабочей длине с взвешенными в жидкой фазе графитовыми твердыми частицами – подвижными электродами. Значительная часть графитовых подвижных электродов 11 постоянно находится во взвешенном состоянии под действием восходящего потока мазута, поступающего в реактор снизу через изолирующую перфорированную решетку 13, которая имеет отверстия достаточные для прохождения мазута, но меньшие размером по сравнению с графитовыми шариками, что исключает попадание шариков в трубопровод при остановке реактора и изолирует его основание 12 от возможного пробоя электрического тока на корпус. Установка четырех промежуточных контактирующих

сих неподвижных электродов 17, неподключенных к токоподводу, сопутствует равномерному распределению электрических дуг по контурам в искровых промежутках токопроводящих электродов. Наличие постоянных контактирующих электродов, между противостоящими основными токоподводящими электродами повышает кратность контактирования с подвижными электродами – твердыми графитовыми частицами, а, следовательно, возрастает надежность дискретной разрядки в системе.

При прохождении мазута через электродуговой реактор, происходит его разделение на две части – жидкую и газообразную. Жидкая составляющая представляет собой обессеренный мазут, который направляется через штуцер подачи обессеренного топлива 21 в сливной бак 8. В случае неконтролируемого расхода топлива предусмотрен переливной штуцер 20, позволяющий эффективно регулировать процесс прохождения мазута через электродуговой реактор. Газообразная часть имеет низкую плотность и направляется в расположенный в крышке реактора 19 штуцер для выхода газа 22, за тем в холодильник 5, где происходит охлаждение газа, после чего проходит первичную очистку в барботере 6, и после газового счетчика 7, направляется на вторичную очистку в адсорбер 4 [4].

Конструкция электродугового реактора, позволяет сократить время контактирования мазута в области высоких температур, обеспечивает необходимые условия тепломассообмена для осуществления термического крекинга без локального перегрева при оптимальном режиме обессеривания мазута. Высокая стабильность электрических дуг обеспечивает максимальную селективность процесса. Реактор может работать в широком диапазоне нагрузок по жидкой фазе при эффективном тепломассообмене и оптимальном режиме обессеривания мазута. Простота и надежность конструкции реактора, высокая турбулизация жидкой среды, отсутствие ограничений размеров и производительности реактора открывают широкие возможности его использования для осуществления гетерофазного процесса в системе жидкость-твердое тело, в частности, для обессеривания жидких энергетических топлив для котлов тепловых электрических станций.

Библиографический список

1. Липантьев Р.Е., Тутубалина В.П. Известия вузов. Проблемы энергетики. 2010 г. № 7-8. с. 144-147
2. Росляков П.В., Закиров И.А. Нестехиометрическое сжигание природного газа и мазута на тепловых электростанциях. – М.: Издательство МЭИ. 2001. 144 с.
3. Адамов В.А. Сжигание мазута в топках котлов. – СПб.: Издательство «Недра». 1989. 304 с.
4. Липантьев Р.Е., Тутубалина В.П. Известия вузов. Проблемы энергетики. 2010 г. №5-6. с. 4-6.

*А.А. Поворов, к.т.н., А.С. Сенатов, к.т.н.
(ЗАО «БМТ», г. Владимир)*

СИСТЕМЫ ВОДОПОДГОТОВКИ И ВОДООЧИСТКИ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ. КОНЦЕПЦИЯ БЕССТОЧНОЙ СИСТЕМЫ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

В настоящее время в России и странах ближнего Зарубежья активно развивается рынок по производству оборудования для подготовки воды для технологических нужд теплоэнергетики. Развитие этого рынка обусловлено, в свою очередь, массовым проектированием и строительством парогазовых установок для снижения дефицита электрической энергии в регионах.

Все теплоэнергетические комплексы имеют две основные проблемы, связанные с получением и переработкой основного теплоносителя – воды:

- I. Проблема подготовки технологической обессоленной воды
- II. Проблема утилизации и очистка сточных вод (отработанные элюаты и продувочные воды)

I. Подготовка технологической обессоленной воды.

Одним из направлений компании ЗАО «БМТ» является разработка и производство водоподготовительных систем. Подготовленная вода используется в ряде технологических процессов теплоэнергетического оборудования:

1. Подпитка паросилового цикла и для впрыска в камеры сгорания газовых турбин
2. Подпитки тепловых сетей с открытой системой горячего водоснабжения
3. Подпитка для восполнения потерь оборотной системы охлаждения.

Подготовленная вода используется для подпитки водогрейных и паровых котлов, а так же котлов-утилизаторов работающих под давлением до 140 атм.

Для каждого из технологических процессов требуется уровень обессоливания воды, который регламентируется соответствующими нормативными документами: РД 24.031.120-91; ГОСТ 20995-75, правилами технической эксплуатации (ПТЭ) и техническими условиями (ТУ), раз-

рабатываемыми изготовителями того или иного типа теплоэнергетического оборудования.

Руководствуясь этими документами, а так же составом источника подачи исходной воды (артезианская скважина или поверхностный водный объект), компания ЗАО «БМТ» осуществляет разработку технологии и подбор того или иного водоподготовительного оборудования индивидуально под требуемые нормативы заказчика.

Компания ЗАО «БМТ» использует комплексные современные высокотехнологические приёмы подготовки воды, обеспечивающие изготовление оборудования с наиболее оптимальными технико-экономическими характеристиками. Оборудование гарантированно обеспечивает требуемое качество очистки при минимальных эксплуатационных затратах.

В последние два десятилетия активное развитие получили мембранные методы очистки. Процесс фильтрации на мембране имеет свои особенности. Фильтруемая среда, как правило, движется тангенциально к поверхности мембраны и разделяется на два потока – фильтрат и концентрат.

Мембранные системы классифицируются в зависимости от рейтинга фильтрации задерживаемых частиц (микро-, ультра-, нанофильтрация, обратный осмос) и задерживают частицы размером от десятков микрон до тысячных долей микрона.

В водоподготовке используются мембраны с различными видами пористых структур.

Соответственно, разработаны и различные виды мембранных фильтрующих элементов – рулонные, трубчатые, плоскопараллельные, половолоконные. Их использование позволяет решать широкий круг задач и решать проблемы индивидуально под запросы заказчиков.

В технологи водоподготовки реализуется принцип очистки, предусматривающий постадийное удаление от крупных коллоидных частиц к более мелким, вплоть до молекул солей (от макрофильтрации частиц размером свыше 50 мкм, до нанофильтрации и обратного осмоса, обеспечивающего задерживание растворённых солей). Это позволяет работать каждому узлу установки в оптимальном для него технологическом режиме.

Стадии микро- и ультрафильтрации обеспечивают высококачественную предварительную подготовку воды и позволяют удалить примеси с молекулярной массой, опасной для работы обратного осмоса. Непосредственный процесс обессоливания производится на стадии обратного осмоса, который в свою очередь, может состоять из одной или двух ступеней по фильтрату. Вода, прошедшая первую ступень обратного осмоса,

характеризуется удельной электропроводностью не более 20 мкСм/см и жёсткостью не более 0,3 мг-экв/л, после второй ступени – удельная электропроводность составляет не более 2 мкСм/см, и жёсткость не более 0,05 мг-экв/л.

Обратный осмос одной или двух ступеней по фильтрату позволяет достичь степени обессоливания воды, которая соответствует требованиям для водогрейных котлов, для подпитки систем горячего водоснабжения и для подпитки оборотной системы охлаждения.

Однако, этого уровня обессоливания недостаточно, для использования воды непосредственно в парогазовых установках (турбины, котлы-утилизаторы и т.п), удельная электропроводность для которых не должна превышать 0,1 мкСм/см, и жёсткость не более 0,001 мг-экв/л. Для достижения указанного уровня обессоливания ЗАО «БМТ» использует два варианта технологий глубокого обессоливания:

- дообессоливание на базе электродеионизатора;
- дообессоливание на базе ионообменной технологии;

Оба варианта дообессоливания имеют свои достоинства и недостатки, тем не менее, гарантированно обеспечивают удельную электропроводность воды, не превышающую 0,1 мкСм/см.

Принципиальная схема подготовки технологической обессоленной воды с двумя вариантами дообессоливания представлена на рис. 1, 2. На них не указаны сопутствующие узлы: А) по обработке промывной воды после ультрафильтрации, что обеспечивает экологичность технологии очистки, исключает сброс промывной воды и сокращает потребление исходной воды; Б) по коррекционной обработке воды: ввод щёлочи и реагентов для связывания кислорода, что снижает агрессивно-коррозионные свойства обессоленной воды и повышает срок эксплуатации трубопроводов и теплоэнергетического оборудования.

Оптимальный выбор того или иного метода обессоливания осуществляется совместно с Заказчиком водоподготовительного оборудования после проведения окончательной технико-экономической и экологической оценки проекта, которая зависит от целого ряда сопутствующих факторов, уточняемых на стадии разработки.

II. Утилизация и очистка сточных вод (продувочные воды и отработанные элюаты).

Для тепловых электростанций и котельных актуальной является не только проблема водоподготовки, но и проблема очистки сточных вод. Количество сточных вод достигает 15 % от количества технологических обессоленных вод, поступающих на тепловые станции. Сточные воды представляют собой:



Рис. № 1. «Принципиальная схема потоков обессоливающей установки с использованием электродеионизатора»

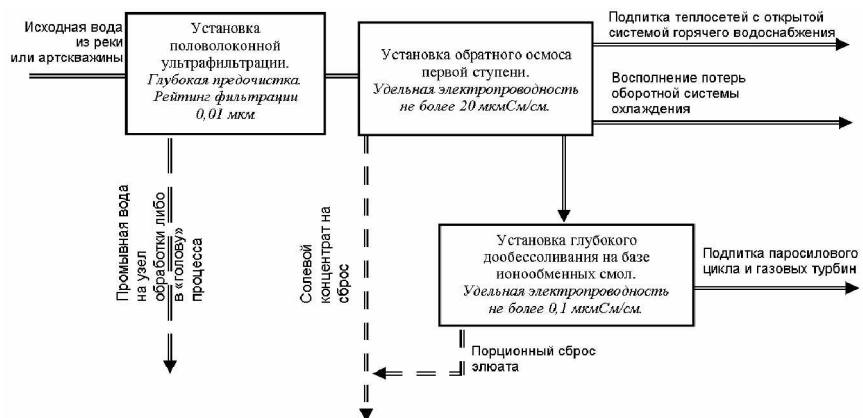


Рис. № 2. «Принципиальная схема потоков обессоливающей установки с использованием ионного обмена»

- воды, образующиеся в результате непрерывной или периодической продувки котлов, испарителей, оборотных систем градирен;
- регенерационные воды (элюаты) после аппаратов ионного обмена химводоочистки, а так же их шламовые воды.

Существенные объёмы этих сбросов приводит к нерациональному расходованию обессоленной воды, а так же оказывают негативное воздействие на окружающую природную среду. Эти воды представляют собой нейтральные засоленные стоки, характеризующиеся повышенным содержанием до 15 г/л, солями кальция и магния (включая нерастворимые фракции), взвешенные вещества.

Предлагаемые технологии ЗАО «БМТ» позволяют очистить стоки от обозначенных примесей и вернуть в технологический процесс до 95 % сточных вод в виде обессоленной воды (рис. 3).

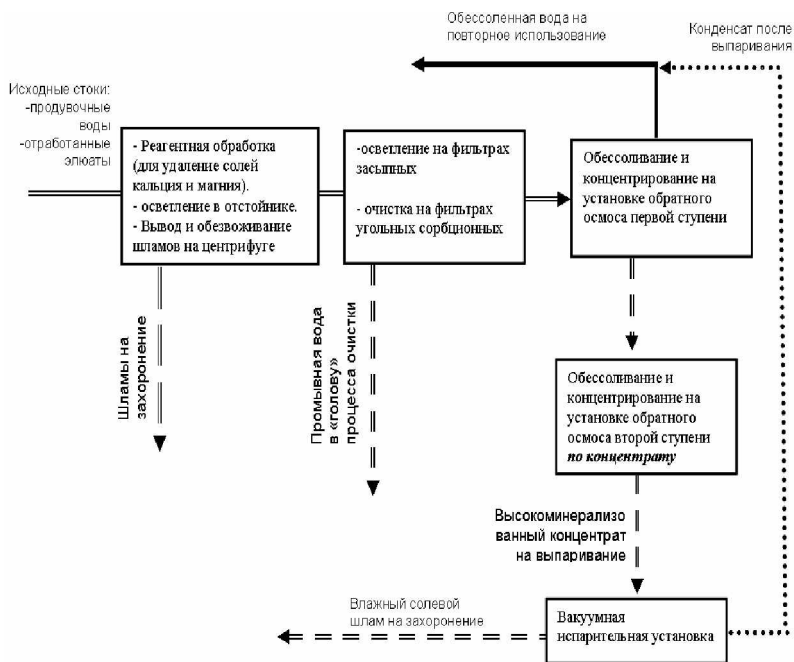


Рис. № 3. «Принципиальная схема очистки сточных вод теплоэнергетического оборудования»

Суть технологии заключается в предварительной реагентной обработке с целью глубокого удаления солей кальция, магния, карбонатов и сульфатов. Последующая фильтрация позволяет удалить остаточные количества взвешенных частиц, а сорбционные фильтры – следовые количества органики. Подобная предварительная подготовка воды позволяет

должным образом подготовить воду перед двухступенчатой по концентрату мембранной системой обессоливания и концентрирования. Двухступенчатая система мембранного концентрирования позволяет максимально уменьшить объём высокоминерализованного концентрата (в среднем, в $10 \div 15$ раз), подаваемого на испарительную установку.

Испарительная установка позволяет получить твёрдые отходы в виде солей с влажностью около 80 %. ЗАО «БМТ» предлагает современное высокотехнологичное оборудование, обеспечивающее высокую степень энергосбережения (до 80 %). Как правило, классические методы выпаривания требуют до 800 кВт электроэнергии на испарение 1 000 кг влаги из рассола.

Предлагаемое ЗАО «БМТ» оборудование на основе выпаривания в вакуумной среде требует энергопотребления не более 130-150 кВт на 1000 кг испаряемой влаги. Все оборудование изготавливается из коррозионно-стойких в данной среде материалов и оснащено необходимыми приборами КИП и А.

Общие концептуальные подходы ЗАО «БМТ» при разработке технологий водоподготовки и водоочистки для нужд предприятий теплоэнергетики.

В изложенных выше технологиях используются различные способы обессоливания: обратный осмос, ионный обмен, выпаривание. Техническими специалистами ЗАО «БМТ» при постановке конкретной задачи Заказчика при разработке технологий осуществляется математическое моделирование процессов обессоливания и оптимизация применения тех или иных методов обессоливания по техническим и экономическим критериям. В качестве исходных данных для оптимизации лежит состав исходной воды, объёмы очищаемых сточных вод, наличие существующей системы ХВО, желаемый уровень её модернизации, требуемая Заказчиком степень сокращения сбросов и их повторного использования.

В применяемом оборудовании используются современные технологии сбережения энергетических, ресурсов, воды и реагентов, в частности:

- высоконапорные насосы на мембранных установках второй ступени по концентрату обратного осмоса работают под давлением до 6,0 МПа. Применяемые на них рекуператоры кинетической энергии концентрата позволяют снизить удельные энергозатраты с 10 кВт·ч на 1 м^3 в классических насосных системах до 2,8 кВт·ч на 1 м^3 обессоливаемой воды в системах с применением рекуперации;

- в технологии ионного обмена используются приёмы, позволяющие сократить количества реагентов, используемых для регенерации. Для

достижения удельной электропроводности до 0,1 мкСм/см благодаря применению специальных технологических приёмов нет необходимости использовать дорогостоящие фильтры со смолой смешанного действия;

- в технологии термического обезвоживания (выпаривания) применяются технологии выпаривания под вакуумом, что позволяет сократить потребление электроэнергии на выработку греющего пара как минимум на 80 % по сравнению с классическими методами выпаривания.

Комплектующие для изготовления оборудования (высоконапорные насосы, корпуса фильтров, мембранные элементы, ионообменные материалы, КИПиА, элементы обвязки) ЗАО «БМТ» приобретает, как правило, у прямых поставщиков из Европы и Америки, что обеспечивает минимальный ценовой уровень при их максимальном качестве.

ЗАО «БМТ» готово предложить предприятиям теплоэнергетики технологические решения, позволяющие осуществить реконструкцию существующих систем химводоподготовки, спроектировать и изготовить новое водоподготовительное оборудование, а так же сооружения по утилизации и очистке сточных вод, что позволит сократить объёмы сбросов, соответственно, сократить объёмы потребления свежей воды и, таким образом, повысить экологическую безопасность объектов теплоэнергетики. Осуществить монтаж, пусконаладочные работы, и сервисное обслуживание.

Таким образом, современные технологии водоподготовки воды, разрабатываемые ЗАО «БМТ» позволяют решать широкий спектр задач водоподготовки и водоочистки, обеспечивают высокий уровень технологичности процесса, низкую себестоимость получения одного кубического метра подготовленной воды, высокий уровень экологичности процессов.

Наши координаты
ЗАО «БМТ», г. Владимир
Тел/факс (4922) 52-23-52
e-mail: com@vladbmt.ru

М.Ф. Шагеев, Э.М. Хайриева

ВЛИЯНИЕ ВОДОТОПЛИВНЫХ ЭМУЛЬСИЙ НА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ МЕРОПРИЯТИЯ ТЭС

В современном мире энергетика является основой развития базовых отраслей промышленности, определяющих прогресс общественного про-

изводства. Во всех промышленно развитых странах темпы развития энергетики опережали темпы развития других отраслей.

В то же время энергетика – один из источников неблагоприятного воздействия на окружающую среду и человека. Она влияет на атмосферу (потребление кислорода, выбросы газов, влаги и твердых частиц), гидросферу (потребление воды, создание искусственных водохранилищ, сбросы загрязненных и нагретых вод, жидких отходов), биосферу (выбросы токсичных веществ) и на литосферу (потребление ископаемых топлив, изменение ландшафта).

Тепловая электрическая станция (ТЭС) является основным производителем электрической и тепловой энергии в крупных промышленных центрах и городах. Для выработки энергии, здесь используют сжигание органического топлива в котельных агрегатах.

Следует обратить внимание на значительный вклад выбросов ТЭС в общий объем загрязнения атмосферы диоксидом серы и окислами азота. Это проблема приобретает особую остроту в связи с отсутствием методов отчистки, реализованных на электрических станциях.

На территории России ТЭС сжигают, в значительной части, газообразное топливо. При эксплуатации приходится уделять внимание режиму работы ТЭС в целом и ее отдельных элементов, устройством для собственных нужд (в частности мазутному хозяйству), а также влияние станций на окружающую среду.

Одним из основных путей решения экологической проблемы на ТЭС является снижение расходов топлива, что не допустимо для станций. Данный путь может привести к снижению выработки тепловой и электрической энергии. При таком условии не должен страдать потребитель. Поэтому снижение затрат на собственные нужды электрические станции являются актуальной проблемой для защиты окружающей среды.

Одним из самых больших потребителей тепловой энергии на ТЭС является мазутное хозяйство. Сложившаяся экологическая ситуация в Российской Федерации позволило экологическим службам ввести в регламент значительное количество промышленных вопросов. Тем самым, заставив большинство ТЭС перейти на сжигание природного газа, а мазут держать в качестве, горячего или холодного резерва.

Добившись снижения собственных нужд хотя бы на одном объекте (мазутном хозяйстве) можно сократить потребление топлива и, в целом, уменьшить выбросы в атмосферу.

Поэтому, приступая к экологическому нормированию, необходимо, прежде всего, понять действие загрязнителей на отдельные виды, имеющие важное значение для человека или для экосистемы в целом.

Из-за распространенной в мазутном хозяйстве промышленных предприятий, районных котельных и ТЭС технологии разгрузки, хранения и поддержания в горячем резерве, происходит обводнение мазута. В процессе работы мазутного хозяйства некоторое количество воды может скапливаться на дне резервуара, и достигать уровня всасывающего патрубка. Скопившаяся вода вместе с мазутом, в виде водяной пробки, попадает в трубопроводы и через них к форсункам энергетических котлов. В результате ухудшаются условия сжигания мазута, факел становится нестабильным, как следствие может погаснуть, выгорание мазута становится неполным, увеличивается количество вредных веществ в продуктах сгорания, снижается надежность котельных агрегатов и печей и обслуживающего их оборудования [1].

Повысить надежность работы и экономичность котельных агрегатов и печей в условиях эксплуатации мазутного хозяйства можно за счёт равномерного распределения воды по всей массе мазута, т.е. создать из топлива водомазутную эмульсию (ВМЭ). Использование в качестве топлива ВМЭ является одним из эффективных методов, позволяющих устранить негативные последствия этого явления. При сжигании ВМЭ получают существенный экономический эффект и снижение эмиссии загрязняющих веществ (СО, сажи, окислов азота, бензапирена и других канцерогенных полициклических ароматических углеводородов) в атмосферу. Использование гомогенизированной ВМЭ позволяет повысить коэффициент сжигания топлива, сэкономить мазут и уменьшить вредные выбросы NO_x и CO_x в атмосферу при их сжигании. Но само по себе оно еще не решает проблемы сжигания обводненных мазутов, поэтому при изготовлении ВМЭ необходимо добавлять присадки, т.е. поверхностно-активные вещества (ПАВ), улучшающие эксплуатационные характеристики мазута [1, 2]. Качество получившегося топлива определяется в большей степени его дисперсностью, т.е. размерами частиц дисперсной фазы (воды). Чем выше дисперсность и меньше капельки воды, тем устойчивее эмульсия и выше ее качество.

Технология обработки мазута присадками в основном определяется структурой их и способностью растворяться в топливе [2, 3].

Вода в исходном виде является, прежде всего, балластной добавкой, снижающей давление и температуру. Однако в условиях топки наряду с чисто физическим воздействием воды возможно проявление ее химической активности, заключающейся в протекании реакции водяного пара с углеводородным топливом.

В результате реакции конверсии топлива с водяным паром образуется окись углерода и водорода. Процесс довольно активно протекает при

температурах выше 1000^oС, причем его полнота определяется количеством тепла, подведенного к реагентам в период реакции. Затраченное на процесс тепло частично компенсируется при горении образовавшихся СО и Н₂. В тоже время присутствие водорода оказывает положительное воздействие на протекание процесса горения в целом.

Рационально организованный процесс сжигания ВМЭ с поверхностно-активные вещества позволяет по сравнению со сжиганием неэмульгированного мазута снизить содержание в дымовых газах окислов азота до 40%, сажи до 80%. Происходит более глубокое выгорание топлива, уменьшаются золотые отложения по газовому тракту, и как следствие, повышается надежность работы энергетических котлов.

Переход на сжигание ВМЭ приводит к снижению концентраций оксидов азота в продуктах сгорания, который рассматривается в широком диапазоне коэффициентов избытка воздуха по сравнению с режимами сжигания неэмульгированного мазута.

Применение водотопливной эмульсий целесообразно с экологической точки зрения, так как этот прием является эффективным методом защиты воздушного бассейна от загрязнения. Наличие воды в мазуте уменьшает содержание вредных выбросов с продуктами сгорания в атмосферу.

Большинство публикаций рассматривают горение водотопливной эмульсии, но при этом остается, не исследована проблема ее хранения.

Одним из способов хранения является циркуляционный подогрев ВМЭ. В работах [4-7] рассмотрены вопросы поддержания теплофизических свойств ВМЭ, в период хранения у потребителей, что является важным условием дальнейшего использования.

Проведенные исследования показали, что предусмотренные типовой методикой затраты теплоты и электроэнергии на содержание мазутного хозяйства при циркуляционном подогреве мазута имеют значительные резервы. Перевод теплотехнологической схемы мазутного хозяйства ТЭС на использование ВМЭ приводит к экономии: электроэнергии и теплоты. Экономический эффект составит 229,1 тыс. руб./год на один мазутный насос.

Библиографический список

1. **Шагеев А.Ф.** Сжигание в энергетических котлах и промышленных печах водомазутной эмульсии с присадкой СНПХ-9777/ А.Ф. Шагеев, М.Ф. Шагеев, Т.Н. Юсупова, Г.В. Романов, Е.С. Охотникова, Б.Я. Маргулис, Э.А. Ахметов, Э.М. Хайриева// Изв. Вузов. Проблемы энергетики. 2009, №3-4. –с. 21-27.

2. **Шагеев М.Ф.** Сжигание в промышленных печах водомазутной эмульсии с добавлением присадки/ М.Ф. Шагеев, Т.Н. Юсупова, Г.В. Романов, А.Ф. Шагеев, Б.Я. Маргулис// Экспозиция Нефть Газ, №3/Н июнь, 2008. –с. 43-46.
3. **Назмеев Ю.Г.** Мазутные хозяйства ТЭС. – М.: Издательство МЭИ, 2002. – 612 с.
4. **Шагеев М.Ф.** Определение времени разогрева водомазутной эмульсии в резервуарах при хранении на ТЭС и промышленных предприятиях/ М.Ф. Шагеев, В.В. Лопухов, Бушара Салахелдин// Экспозиция Нефть Газ, №4/Н сентябрь, 2009. –с. 52-53.
5. **Шагеев А.Ф.** Концепция получения нового вида энергетического топлива на основе нефтяных остатков, высоковязкой нефти и природных битумов/ А.Ф. Шагеев, Б.Я. Маргулис, М.Ф. Шагеев, Э.М. Хайриева, Т.Н. Юсупова, Г.В. Романов, Е.С. Охотникова// Экспозиция Нефть Газ, №5/Н октябрь, 2009. –с. 38-39.
6. **Охотникова Е.С.** Разработка составов устойчивых водо-топливных эмульсий на основе природных битумов/ Е.С. Охотникова, Ю.М. Ганеева, Т.Н. Юсупова, Г.В. Романов, М.Ф. Шагеев, А.Ф. Шагеев, Б.Я. Маргулис// Актуальные проблемы поздней стадии освоения нефтегазодобывающих регионов: Материалы Международной научно-практической конференции. – Казань: Изд-во «Фэн», 2008. –с. 323-326.
7. **Хайриева Э.М.** Режимы хранения водомазутной эмульсии на промышленных предприятиях и ТЭС/ Э.М. Хайриева, М.Ф. Шагеев, Р.И. Максимова, Г.М.Хаппанова// Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производств, технология и надежность машин, приборов и оборудования: Материалы пятой международной научно-технической конференции. Т. 2. -Вологда: ВоГТУ, 2009. –с. 205-207.