

Секция 5. ТЕХНОЛОГИЯ ВОДЫ И ТОПЛИВА НА ТЭС И ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

*Председатель секции
зав. кафедрой «Химия и химические технологии
в энергетике» д.т.н., проф. Б.М. Ларин
Секретарь секции к.т.н., доцент Н.А. Еремина*

*А.В. Дадашов, аспирант; рук. А.Ф. Алиев, д.т.н.
(АзНИПИИ энергетике, Азербайджан, г. Баку)*

УЛЬТРАФИОЛЕТОВОЕ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ ВОДЫ ПРИ МЕМБРАННОЙ ВОДОПОДГОТОВКЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Для обеззараживания воды в процессе мембранной фильтрации используются, как правило, реагентные методы хлорирования и дехлорирования, что приводит к усложнению технологического процесса и ее удороживанию. Этот метод имеет также существенные экологические недостатки. Поэтому одной из актуальных задач при обеззараживании воды является внедрение технологий, не использующих химические реагенты, т.е. не приводящих к образованию токсичных соединений. В этом смысле наиболее перспективным направлением в современной водоподготовке, в частности, по нашему мнению, при мембранном обессоливании минерализованных вод, является использование безреагентного, экологически чистого способа ультрафиолетового (УФ) облучения воды.

Основным и необходимым условием успешного применения и УФ – обеззараживания и мембранного обессоливания является предварительная очистка воды от механических примесей.

В первом случае прозрачность воды обеспечивает наибольшую эффективность процесса облучения и, следовательно, обеззараживания, во втором – предохраняет мембраны от механических повреждений и засорения твердыми отложениями.

Таким образом, при мембранном обессоливании воды уже применяются основные процедуры, необходимые для оптимально эффектив-

ной работы УФ-ламп, и, следовательно, нет необходимости в дополнительных мероприятиях.

Широкое использование УФ технологий в промышленной водоподготовке сдерживалось относительной дороговизной оборудования. Однако, в последние годы, в связи с развитием и усовершенствованием установок, их стоимость существенно снизилась и появилась реальная экономическая выгода.

В качестве источников бактерицидного ультрафиолетового излучения используются ртутные газоразрядные лампы. Из литературы известно, что время обеззараживающего контакта, как правило, составляет $\sim 0,5 \div 5$ с, и наибольшим бактерицидным действием обладает электромагнитное излучение длиной волны 240-280 нм.

Эффект обеззараживания воды контролируют, определяя общее число бактерий в единице объема воды и количество индикаторных бактерий группы кишечной палочки до и после облучения. По стандартам стран СНГ, в частности по российскому ГОСТ 2874-82 “Вода питьевая”, общее микробное число в 1 мл неразбавленной воды должно быть не более 100, а количество бактерий группы кишечной палочки в 1 литре (коли-индекс) — не более 3.

Существенное снижение эффективности обеззараживания проявляется при возможных негативных явлениях. Это соляризация и биообрастание – формирование колоний непатогенных светолюбивых микроорганизмов на поверхностях кварцевых трубок, в которых находятся ультрафиолетовые лампы. В связи с этим возникает необходимость периодической очистки поверхностей защитных трубок от экранирующего световой поток слоя. На практике наиболее эффективным способом проявила себя химическая очистка, которая осуществляется путем циркуляции через установку воды с добавлением небольших доз пищевых кислот. Для увеличения эффективности процесса очистки ламп от отложений нами предложено введение в кислотный раствор добавок некоторых органических реагентов.

Для оптимальной работы УФ-оборудования необходимо правильно выбрать дозу облучения. Минимальная доза УФ-облучения, регламентируемая методическими указаниями санитарных органов, при обеззараживания питьевой воды – 16 мДж/см^2 .

Нами разработана лабораторная установка (рис.1), позволяющая определять технологические параметры (интенсивность излучения, время воздействия, доза облучения) процесса дезактивации воды от бактерий [1].

Проведенные эксперименты на этой установке позволили выявить указанные параметры процесса УФ-обеззараживания вод различной степени бактерицидности и минерализации и их оптимальные значения.

Эксперименты проводились по обеззараживанию природных вод, используемых при мембранном обратноосмотическом обессоливании солоноватой воды на ЭС «Шимал» [2], пресной питьевой воды на Сангачальской ЭС [3] и каспийской воды на морских нефтегазодобывающих платформах Азербайджана [4, 5]. Санитарно-бактериологические составы указанных вод весьма разнообразны, зависят от многих факторов (температура, время года и др.). Некоторые показатели приводятся в [1-5].

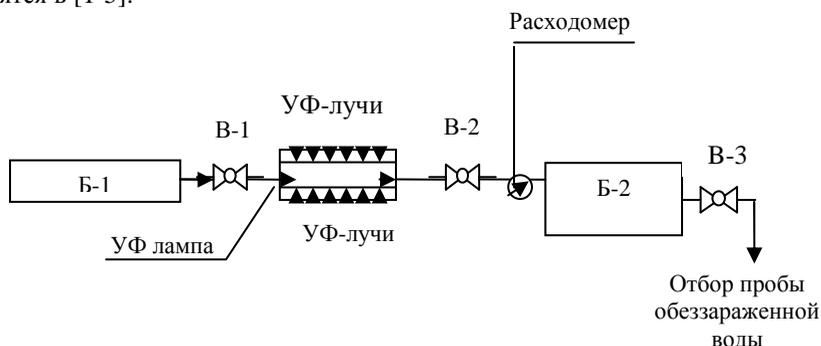


Рис 1. Схема лабораторной установки для определения параметров УФ-обеззараживания воды: Б-1 – бак исходной воды; Б-2 – бак облученной УФ-лампой воды; В-1, В-2, В-3 – вентили.

Исходная, очищенная от механических примесей вода, из бака (Б-1) посредством регулируемых вентилях (В-1, В-2, В-3) подается во внутреннее пространство УФ-лампы, где подвергается облучению.

Конструкция оптического узла УФ-лампы и ее защитной кварцевой трубки приводятся на рис. 2.

Заданная скорость движения воды устанавливается с помощью вентилях, вмонтированных в установку до и после УФ-лампы. Далее вода попадает в бак облученной воды (Б-2), из которого отбираются пробы для микробиологических анализов. Скорость движения воды контролируется расходомером, установленным между регулируемым вентилем (В-2) и баком воды (Б-2), облученной УФ-лампой.

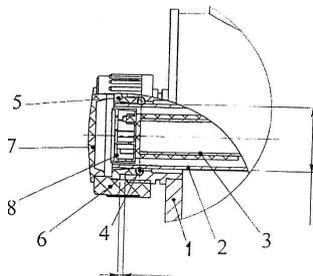


Рис. 2 Конструкция оптического узла (УФ – лампа и защитная кварцевая трубка) установки «Лазурь»: 1-корпус; 2-защитная кварцевая трубка; 3-УФ-лампа; 4-кольцо резиновое; 5-кольцо уплотнения (нержавеющая сталь); 6-накидная гайка (полипропиленовая); 7-крышка (полипропиленовая); 8-патрон.

Новейшая технология обеззараживания воды, использующая ультрафиолет для полной инактивации (уничтожения) микрофлоры и микрофауны, безусловно, найдет широкое применение в технике мембранной водоподготовки и водоочистки электростанций и других энергетических предприятий.

Библиографический список

1. **Алиев А.Ф., Дадашов А.В.** Применение ультрафиолетового метода обеззараживания воды при мембранной деминерализации, «Промышленная энергетика», М., 2011, №2, стр. 49-56.
2. **Алиев А.Ф.** Обратноосмотическое обессоливание воды на ГРЭС "Шимал". "Промышленная энергетика", М., 2005, №5, стр. 18-23.
3. **Алиев А.Ф.** Приготовление и применение деминерализованной воды на поршневых энергетических установках Азербайджана, «Теплоэнергетика», М., 2012, №7, стр. 45-48.
4. **Алиев А.Ф., Джаррахов А.А.** Обратноосмотическое опреснение каспийской воды, «Промышленная энергетика», М., 2008, №11, стр. 60-64.
5. **Алиев А.Ф., Джаррахов А.А.** Обратноосмотическое обессоливание и опреснение каспийской воды в открытом море, «Водоочистка, водоподготовка, водоснабжение», М., 2008, №8, стр. 45-50.

*У.А. Насибова, асп.; рук. А.Ф. Алиев, д.т.н.
(АзНИПИИ энергетики, Азербайджан, г. Баку)*

ВЫБОР АНТИНАКИПИНА ПРИ МЕМБРАННОМ ОБЕССОЛИВАНИИ ВОДЫ

В процессе эксплуатации обессоливающих установок с аппаратами обратного осмоса (RO- reverse osmosis) на поверхностях мембранных элементов, как правило, образуются осадки, в состав которых могут входить:

- малорастворимые соли карбонатов, сульфатов и др.;
- оксиды металлов;
- неорганические соединения;
- органические вещества природного происхождения.

Осадки затрудняют работу мембран, производительность установок падает. Для увеличения длительности работы RO-установки между промывками следует использовать антинакипины (antiscalant) - реагенты, предотвращающие образование нерастворимых отложений на поверхностях мембран. Использование антинакипинов существенно увеличивает рабочий цикл установки, периодичность промывок сокращается. Поэтому одной из важнейших задач при обратноосмотическом обессоливании воды является предотвращение накипеобразования (солеотложений) на поверхностях мембранных элементов. В зависимости от соледержания исходной воды и ее особенностей необходимо проведение исследований по подбору антинакипинов, а в некоторых случаях, разработать новые реагенты. Эти исследования проводятся нами на экспериментальной установке (рис. 1) конструкции российской фирмы ЗАО «НПК Медиана-Фильтр».

В Азербайджане RO – обессоливание воды применяется на электростанции (ЭС) «Шимал» [1], морских нефте-газодобывающих платформах [2,3] и на Сангачальской поршневой ЭС [4,5]. В качестве обессоливаемой исходной воды на ЭС «Шимал» используется солоноватая подземная вода с соледержанием $\sim 1,8$ г/дм³, на морских платформах – каспийская вода ($\sim 13,0$ г/дм³), в Сангачале водопроводная Куринская вода ($\sim 0,5$ г/дм³). В настоящее время заканчивается строительство Ширванской ЭС с применением RO – технологии, проектируются ЭС в Бююк-Шоре и Кобустане также с RO – обессоливанием воды.

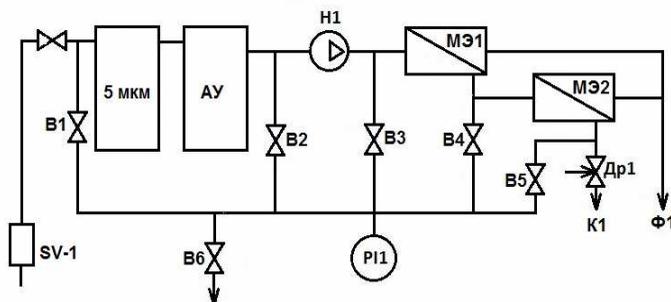


Рис 1. Схема экспериментальной установки:

SV-1 – врезка в магистраль исходной воды; В1-В6 – краны; 5 мкм – картридж, рейтинг 5 мкм; АУ – картридж с активированным углем; Н1 – насос СDP с блоком питания; МЭ1, МЭ2 – RO-мембранные аппараты; Др1 – дроссель регулируемый; Ф1 – фильтрат (пермеат), К1 – концентрат воды; PI1 – манометр.

При запуске мембранной установки на ЭС «Шимал» (2002 г.) в качестве антинакипина использовался препарат FLOCON. Затем он был заменен антинакипином серии FERROFOS. В 2010 году в связи с отсутствием в продаже реагента FERROFOS на станции возникла необходимость его замены. Поэтому нами были проведены исследования с реагентом OSMOTECH с целью его использования на мембранной установке взамен препарата FERROFOS и даны рекомендации по его применению. Это предложение было внедрено на станции.

При обратноосмотическом опреснении каспийской воды на морских платформах Азербайджана успешно применяется антинакипин PERMA TREAT.

Ниже приводятся некоторые характеристики исследованных антинакипинов, используемых при обратноосмотическом обессоливании вод различной минерализации.

FLOCON

FLOCON является водным раствором поликарбоневой кислоты.

Внешний вид: бледная, желтая жидкость

Запах: небольшой

pH: от 3,0 до 4,0

Удельный вес при 20 °C: от 1,15 до 1,20 (г/см³)

Точка кипения: интервал: от 100 до 103 °C

Температура замерзания: интервал от 0 до - 3 °C

FERROFOS

Препараты серии FERROFOS являются ингибиторами коррозии и накипеобразования для систем водяного охлаждения с технологиче-

ской водой в пределах рН от 7,0 до 10,0. В некоторых случаях могут применяться в мембранной водоподготовке.

FERROFOS представляет собой жидкую смесь на основе фосфоновых и поликарбоксильных кислот.

Удельный вес при (20 °С): 1.02 ± 0.03 г/см³

рН $3,2 \pm 0,3$

FERROFOS может добавляться как неразбавленным, так и в виде водного раствора.

AMEROYAL

AMEROYAL представляет собой жидкий антинакипин, специально разработанный для предотвращения осадкообразования в системах обратного осмоса.

Главными особенностями продукта являются: высокая эффективность в широком диапазоне рН и температур; безопасен и прост в работе.

Одобен для применения в производстве питьевой воды.

Дозирование. Специальная программа по расчету процессов обработки мембран, разработанная компанией ASHLAND, определяет оптимальную дозировку продукта для воды любого состава и качества. В расчетах учитываются скорость подачи реагента, характеристики мембраны, свойства реагента, рабочие параметры и параметры питающей воды. AMEROYAL может дозироваться как в разбавленном, так и в неразбавленном состоянии.

Допускается использование данного продукта в пищевой и фармацевтической промышленности.

PERMA TREAT

PERMA TREAT, состоящий из смеси полимеров и фосфонатов, является одним из основных ингибиторов солеотложений, используемых в мембранной индустрии. Этот препарат считается более эффективным, чем гексаметафосфат натрия (Na PO_3)₆.

Достоинства продукта

- Высокая эффективность предотвращения солеотложений для широкого диапазона солевого состава воды.
- Уменьшение, а в общем случае - исключение необходимости добавлять кислоту.
- Низкий уровень доз, обеспечивающих экономический эффект.
- Совместимость с мембранами всех типов.
- Эффективное связывание ионов железа.

PERMA TREAT должен постоянно подаваться в поступающую на обработку воду. Дозировку предпочтительно производить по неразбавленному продукту.

OSMOTECH

Антинакипин для мембранных систем при рН воды от 7,0 до 10,0

OSMOTECH - смешанный продукт жидкости, основанный на фосфоновой кислоте (phosphonic) и многокарбоксильной кислоте.

Внешний вид: чистый, с немного мутной бесцветностью

рН (1 % в дистиллированной воде): $2,4 \pm 0,3$

Растворимость в воде: полностью смешивается во всех пропорциях

Общее содержание фосфора: (вычисленный по PO_4^{3-}) $8.5 \pm 0,3$ %

Влияния на окружающую среду

Продукт - энергонезависимый и невоспламеняющийся, имеет низкое содержание фосфора и свободно от азота.

Дозировка:

Дозировка зависит от многих факторов, например, от содержание твердых частиц.

Концентрация OSMOTECH в морской воде должна быть между 3 и 30 г/м³.

Контроль:

Проведение указанных исследований позволяет сделать выбор в пользу наиболее эффективного антинакипина в зависимости от солевого состава обессоливаемой воды и подобрать её оптимальную дозу.

Библиографический список

1. **Алиев А.Ф.** Обратноосмотическое обессоливание воды на ГРЭС "Шимал". "Промышленная энергетика", М., 2005, №5, стр. 18-23.
2. **Алиев А.Ф., Джаррахов А.А.** Обратноосмотическое опреснение каспийской воды, «Промышленная энергетика», М., 2008, №11, стр. 60-64.
3. **Алиев А.Ф., Джаррахов А.А.** Обратноосмотическое обессоливание и опреснение каспийской воды в открытом море, «Водоочистка, водоподготовка, водоснабжение», М., 2008, №8, стр. 45-50.
4. **Алиев А.Ф.** Приготовление и применение деминерализованной воды на поршневых энергетических установках Азербайджана, «Теплоэнергетика», М., 2012, №7, стр. 45-48.
5. **Aliyev. A.F.** Preparation and the use of demineralized water for reciprocating engine-driven power plants in Azerbaijan, "Thermal Engineering", 2012, vol.59, No. 7, p. 532-535, Pleiades Publishing, Inc., Printed in the USA.

*О.Г. Дударовская, асп.;
рук. А.Г. Лаптев, д.т.н., проф., Т.М. Фарахов, к.т.н.
(КГЭУ, ИВЦ «Инжехим, г. Казань»)*

КОЭФФИЦИЕНТ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ В НЕУПОРЯДОЧЕННОМ НАСАДОЧНОМ СЛОЕ

Перспективным направлением развития процессов приготовления различных композиций является использование в качестве смешительного оборудования проточных малообъемных статических смесителей. Они используются как для простого перемешивания широкого класса взаимно растворимых жидкостей, суспензий и эмульсий, так и в процессах с тепло- и массообменном, а также в качестве химических реакторов. К настоящему времени статические смесители применяются в установках для ввода присадок в топливо, улучшающих его качество, а также для ввода флокулянтов в суспензии, кислот в жидкости для нейтрализации, для разбавления концентратов добавок перед их подачей в технологические потоки.

Смесители проточного типа устанавливаются на трубопроводах, подводящих смешиваемые компоненты и отводящих смеси. Такие смесители просты в изготовлении и эксплуатации и обеспечивают высокую эффективность. Статические смесители позволяют максимально использовать затрачиваемый на перемешивание перепад давления для усреднения концентраций перемешиваемых фаз.

Для оценки эффективности перемешивания ниже рассмотрен следующий подход.

Известен подход, когда все гидродинамические эффекты – турбулентная диффузия, продольное и поперечное перемешивание в потоке могут быть приближенно описаны с использованием эффективно коэффициента [1,2,3]:

$$D_{\text{эф}} = D_{\text{T}} + D_{\text{ПП}} + D_{\text{П}}, \quad (1)$$

где D_{T} – коэффициент турбулентной диффузии, $\text{м}^2/\text{с}$; $D_{\text{ПП}}$ – коэффициент продольного перемешивания, $\text{м}^2/\text{с}$; $D_{\text{П}}$ – коэффициент поперечного перемешивания, $\text{м}^2/\text{с}$. Здесь молекулярная диффузия не учитывается, т.к. на эффективность перемешивания она практически не влияет.

Уравнение стационарного массопереноса (двухмерной конвективной диффузии) записывается в виде:

$$u_{cp} \frac{dC}{dz} = D_{||} \frac{d^2C}{dz^2} + D_{\perp} \frac{d^2C}{dr^2}, \quad (2)$$

где C – концентрация вещества в потоке; z, r – вертикальная (продольная) и поперечная координаты, м.

В одномерном приближении записывают

$$D_{эф} = D_{||} + D_n. \quad (3)$$

Величина D_n учитывает вклад, вносимый в $D_{эф}$ поперечным распределением скоростей, т.е. поперечной неравномерностью. Таким образом, введение эффективного коэффициента диффузии $D_{эф}$, описывающего все гидродинамические эффекты, в том числе распределение скоростей по сечению, позволяет в одномерном приближении описать поперечную неравномерность как возрастание продольного перемешивания.

Следует отметить, что в ряде случаев коэффициент D_n может быть значительно больше D_m (турбулентной диффузии).

Для турбулентного потока в цилиндрическом канале Тейлор получил

$$D_{эф} = 10,1 R u_*, \quad (4)$$

где R – радиус канала, м; u_* – динамическая скорость трения, м/с.

Отмечается [2], что сопоставление теоретических и опытных коэффициентов $D_{эф}$ показывает их значительное расхождение. Однако сама форма записи $D_{эф} = f(R, u_*)$ является перспективной, т.к. позволяет вычислять эффективный коэффициент перемешивания на основе использования выражений для гидравлического сопротивления канала.

Для оценки эффективности смешения в качестве критерия неоднородности смеси часто используют среднеквадратичное отклонение доли i -го компонента [4]. Представляется целесообразным для смесителей насадочного типа в качестве интегральной характеристики смешения использовать модифицированное число Пекле, которое широко используется в диффузионной модели структуры потока при расчете массообменных аппаратов [1,2]. Число (критерий) Пекле для насадки записывают в виде

$$Pe = \frac{u_{cp} d_э}{D_n} . \quad (5)$$

При высокоэффективном перемешивании число $Pe \rightarrow 0$.

Рассматривая движение потока в слое насадки как по эквивалентному каналу из выражения (4) запишем

$$D_{эф} = 10,1 d_э u_* / 2 , \quad (6)$$

где $d_э$ – эквивалентный диаметр насадки, м; u_* - средняя динамическая скорость на поверхности неупорядоченных насадок:

$$u_* = 1,8 \left(\xi u_{cp}^3 \nu / 2 d_э \right) . \quad (7)$$

где ξ - коэффициент гидравлического сопротивления; u_{cp} - средняя скорость среды, м/с; ν - коэффициент кинематическая вязкости, м²/с.

Значение коэффициента сопротивления ξ зависит от формы насадки и определяется в зависимости от характера движения среды. Для колец Рашига коэффициент ξ вычисляется по формуле [5]:

$$\xi = \frac{16}{Re^{0,2}} , \quad (8)$$

где $Re = u_{cp} d_э / \nu_{ж}$ - число Рейнольдса.

Для насадок в форме шара выражение имеет вид [5]:

$$\xi = \frac{133}{Re} + 2,34 , \quad (9)$$

Для насадок седлообразной формы коэффициент ξ вычисляется по формуле [1]:

$$\xi = 4 \left(\frac{37,6}{Re} + 0,585 \right) , \quad (10)$$

С динамической скоростью u_* из выражения (6) получим

$$D_{эф} = 7,63 \nu Re_э^{0,75} \xi^{0,25} . \quad (11)$$

Выражение (11) запишем используя число Пекле (5):

$$Pe = A (Re/\xi)^{0,25} . \quad (12)$$

где по Тейлору $A=1/7,63=0,131$.

Расчеты по (12) и сравнение с экспериментальными данными (рис. 1 и 2) показывают, что при $A=0,52$ обеспечивается удовлетворительное согласование ($\pm 20\%$).

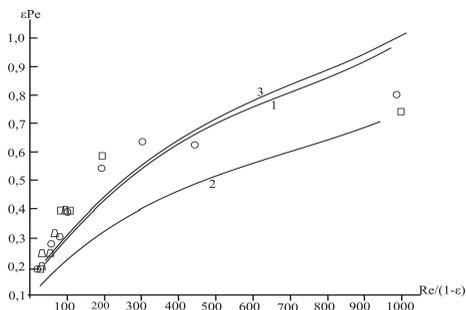


Рис.1. Зависимость модифицированного числа Pe от числа Re :

1- расчет по выражению (12) для насадок шарообразной формы ($d=1,9$ см, $\varepsilon=0,41$); 2 – расчет по выражению (12) для насадок шарообразной формы ($d=1,9$ см, $\varepsilon=0,32$); 3 – расчет по выражению (12) для насадок шарообразной формы ($d=0,96$ см); ○- экспериментальные данные Вермиюлена для насадок шарообразной формы ($d=1,9$ см, $\varepsilon=0,41$); ◻- экспериментальные данные Вермиюлена для насадок шарообразной формы ($d=1,9$ см, $\varepsilon=0,32$); ◻ - экспериментальные данные Вермиюлена для насадок шарообразной формы ($d=0,96$ см).

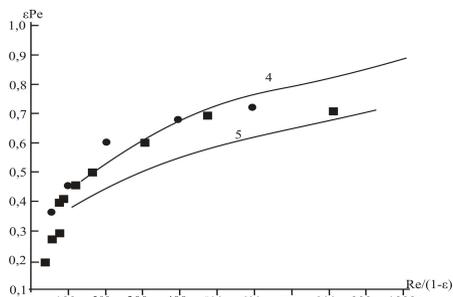


Рис.2. Зависимость модифицированного числа Pe от числа Re :

1- расчет по выражению (12) для седлообразных насадок Берля ; 2 – расчет по выражению (12) для колец Рашига ; ●- экспериментальные данные Вермиюлена для седлообразных насадок Берля; ■ - экспериментальные данные Вермиюлена для колец Рашига.

Библиографический список

1. **Аэров М.Э.** Аппараты со стационарным зернистым слоем: Гидравлические и тепловые основы расчета / М.Э.Аэров, О.М.Тодес, Д.А. Наринский. – Л.: Химия, 1979. – 176 с.
2. **Гельперин Н.И.** Структура потоков и эффективность колонных аппаратов химической промышленности / Н.И. Гельперин, В.Л. Пибалк, А.Е. Кастаян. – М.: Химия, 1977. – 264 с.
3. **Романков П.Г.** Массообменные процессы химической технологии (системы с твердой фазой) / П.Г. Романков, В.Ф. Фролов. – Л.: Химия, 1990. – 383 с.
4. **Богданов В.В.** Эффективные малообъемные смесители / В.В. Богданов, Е.И. Христоворов, Б.А. Клоунт. – М.: Химия, 1989. – 224с.
5. **Рамм В.М.** Абсорбция газов. / В.М. Рамм. – М.: Химия, 1976. – 656 с.

*А.Ю. Карсеев, студ.; рук. В.В. Давыдов, к. ф.-м. н., доц.
(НИУ СПбГПУ, г. Санкт – Петербург)*

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ СОСТАВА И РАСХОДА ТОПЛИВНЫХ ЭМУЛЬСИЙ ДЛЯ ТЕПЛОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Для повышения экономической и экологической эффективности работы тепловых энергетических установок на жидком топливе использование топливных эмульсий является наиболее перспективным направлением. К топливным эмульсиям относятся такие смеси: вода – мазут, вода – дизельное топливо, вода – мазут – угольная пыль [1].

Проведенные многими учеными эксперименты и расчеты показали, что перевод котлов на сжигание водно – топливных эмульсий (ВТЭ) позволяет улучшить как их энергетические показатели, так и экологические. В зависимости от вида ВТЭ выбросы в атмосферу полиароматических канцерогенных соединений сокращаются минимум на порядок, на 60 - 85 % уменьшатся выбросы окислов азота NO_x [2]. Концентрация золы после сжигания эмульсий в 100 раз меньше чем от угля.

Энергетическая эффективность сжигания ВТЭ связана с тем, что водяной пар распадается на радикалы, которые катализируют окислительные реакции при горении топлива. Скорость цепной химической реакции пропорциональна концентрации активных центров, ведущих процесс [3]. Преимущество ВТЭ перед необходимыми топливами заключается в том, что даже при низких температурах в зоне пламени их начальные концентрации активных центров атомов и радикалов намного выше. Это позволяет проводить сжигание при малых концентрациях кислорода и более низких температурах. Но концентрацию (или процентное содержание) воды в ВТЭ до бесконечности нельзя увеличивать. Многочисленные эксперименты и опыт работы установок на ВТЭ показал, что оптимальная концентрация воды в ВТЭ для различных её типов составляет от 20 до 30 %. Дальнейшее процентное увеличение состава воды приводит уменьшению выделяемой мощности с последующим срывом факела и затуханию форсунок. Попытка вторичного пуска котлоагрегатов сопровождаются сильными хлопками и разрушением топок [4]. Чтобы также добиться устойчивой работы топок надо, чтобы ВТЭ имела равномерное распределение [5].

В такой ситуации необходимы надежные системы контроля ВТЭ, позволяющие контролировать как расход, так и состав приготовленной ВТЭ. Наиболее надежным из известных методов контроля для вязких

жидкостей, имеющих в своем составе пузыри и твердые включения, является метод ядерного магнитного резонанса [6, 7].

Ядерно – магнитные расходомеры и релаксометры обладают рядом неоспоримых достоинств при проведении измерений ВТЭ. В первую очередь – это полностью бесконтактные приборы, что позволяет их использовать для различных видов ВТЭ во всем диапазоне вязкостей и температур. В отличие от других приборов они не вносят изменений в текущий поток (не нарушают его равномерность) ВТЭ. Кроме того измерения проводятся с высокой точностью в реальном времени.

Наиболее оптимальной является система контроля ВТЭ состоящая из меточного ядерно – магнитного расходомера и ядерно – магнитного релаксометра. Последние разработки, представленные в научных работах авторов статьи, так и статьях зарубежных ученых позволяют конструировать меточные ядерно – магнитные расходомеры работающие с потоками жидких сред при давлениях до 6 МПа при диаметре трубопровода 100 мм. с точностью измерения расхода 1 %.

Для тепловых энергетических установок, в которых сжигаются ВТЭ, в основном применяются для подачи топлива трубы диаметра до 100 мм. Стандартное давление 4 или 5 МПа.

Наибольшую сложность представляет определение процентного соотношения воды в ВТЭ и степень однородности потока. На рис.1 представлен сигнал ЯМР от ВТЭ.

Определить процентное соотношение воды в ВТЭ можно если измерить температуру и времена продольной T_1 и поперечной T_2 релаксации ВТЭ. Степень однородности потока контролируется по максимальной амплитуде сигнала ЯМР. Согласно рис. 1 форма сигнала ЯМР ВТЭ представляет собой затухающие по экспоненциальному закону пики – «вигли» [8]. В случае изменения однородности текущего потока ВТЭ амплитуда первого (максимального) пика изменится. Причем характер изменения пика может показать, как изменилось в потоке соотношение между нефтепродуктами и водой, что увеличилось, а что уменьшилось. Есть ли в большом количестве в потоке ВТЭ воздушные пузыри. По интервалу колебаний амплитуды пика устанавливают допустимые пределы колебаний однородности потока ВТЭ.

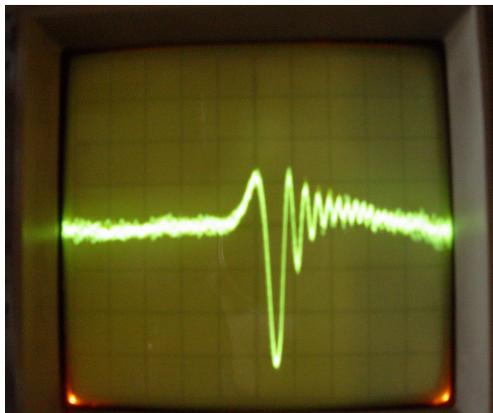


Рис.1 Сигнал ЯМР от текущего потока ВТЭ на частоте модуляции 50 Гц.

По затуханию «виглей» сигнала ЯМР определяют T_2 [9]. Погрешность определения времени поперечной релаксации T_2 определяется отношением сигнал/шум в схеме регистрации сигнала ЯМР и неоднородностью магнитного поля, в котором регистрируется сигнал. Использование больших давлений в потоке позволяет регистрацию сигнала ЯМР ВТЭ проводить на небольшом участке магнитного поля, из-за высокой концентрации магнитных моментов на единицу сечения трубопровода [10]. Это значительно уменьшает неоднородность магнитного поля и позволяет измерять T_2 с погрешностью меньше 1 %.

В связи с тем, что времена продольной релаксации T_1 для нефтепродуктов и воды значительно отличаются по величине для определения процентного состава ВТЭ был реализован метод основанный на измерении оптимальной индукции радиочастотного поля в катушке регистрации.

Теоретическое обоснование этого метода представлено в работах [11, 12]. В случае ламинарного течения жидкости [13] стационарная ядерная намагниченность максимальна только при определенной индукции переменного магнитного поля $H_{\text{опт}}$ в катушке регистрации сигнала ЯМР, зависящей от времен релаксации следующим образом:

$$\gamma H_{\text{опт}} = (T_1 T_2)^{-1/2}$$

Измерив предварительно T_2 и измеряя $H_{\text{опт}}$ соответствующее максимальной амплитуде сигнала ЯМР, вычисляем T_1 . Экспериментально установлено, что для чистых нефти и воды оптимальные напряжения радиочастоты на приемной катушке составляют соотношение 3 к 1 [6, 11]. Для смеси соотношение изменится, и будет носить промежуточный характер. Для определенных значений температуры ВТЭ в зави-

симости способа приготовления и состава ВТЭ экспериментально установлены значения T_1 и T_2 . Сравнив измеренные ядерно – магнитным релаксометром T_1 и T_2 с табличными, полученными в лаборатории для данного типа ВТЭ мгновенно устанавливается концентрация воды в ВТЭ. Это позволяет обеспечить автоматический контроль всего технологического процесса как приготовления ВТЭ, так и подачи её в топку.

Библиографический список

1. Батуев С.П. Улучшение экономических и экологических параметров котельных при сжигании водомазутных эмульсий // Новости теплоснабжения. – 2008, № 12, с. 16 – 19.
2. В.Д. Юсуфова, А.Л. Гарзанов, Г.С. Каспаров, Р.М. Парнас. / Уменьшение вредных выбросов в атмосферу при сжигании водномазутной эмульсии в паровом котле // Промышленная теплоэнергетика. – 1984, № 7.
3. А.С. Штейнберг Быстрые реакции в энергоемких системах. М.: Физматлит. 2006. – 208 с.
4. Поконова Ю.В. Нефтепродуктосбережение (вода - топливные эмульсии). – СПб: Рикон, 2010. – 172 с.
5. Р.С. Кашаев, И.Н. Дияров. Импульсная спектроскопия ЯМР структурно - динамического анализа нефтяных дисперсных систем. Казань: Грандан. 2002. – 109 с.
6. Жерновой А.И. Ядерно – магнитные расходомеры. Л.: Машиностроение, 1985. – 136 с.
7. Кашаев Р.С. Управляемая от релаксометра ядерного магнитного резонанса (ЯМР) установка для переработки нефтяных остатков, отходов нефтепереработки и стоков в топливные эмульсии. // Современные наукоемкие технологии. – 2006. – № 3 – С. 65-65.
8. Абрагам А. Ядерный магнетизм. М.: Иностранная литература, 1967. - 686 с.
9. Лёше А. Ядерная индукция. М.: Иностранная литература, 1963. - 678 с.
10. Кашаев Р.С. Управляемая от релаксометра ядерного магнитного резонанса (ЯМР) установка для переработки нефтяных остатков, отходов нефтепереработки и стоков в топливные эмульсии. // Современные наукоемкие технологии. – 2006. – № 3 – С. 65-65.
11. Abouelwala M.C. Optimization of continuous wave nuclear magnetic resonance to determine in situ volume fraction and individual flow rates in two component fraction and individual flow rates in two component mixtures // Rev. Sci. Instr. - 1979. – Vol. 50. - № 12. – P 1545 – 1549.
12. Давыдов В.В. Линия нутации ядерно – магнитного спектрометра с текущим образцом. // Радиотехника и электроника. 1999. - Т. 44. - № 12. - С. 1528 – 1531.
13. Гиргидов А.Д. Механика жидкости и газа (гидравлика). СПб: Издательство «Политехнического университета», 2007. - 545 с.

*К.В. Михайлова, студ., рук. Е.Н. Бушуев, д.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ВЫБОР ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ДОБАВОЧНОЙ ВОДЫ НА НОВОРОНЕЖСКОЙ АЭС-2

В настоящее время производится строительство Нововоронежской АЭС-2 которая должна заменить выводимую из эксплуатации Нововоронежскую АЭС-1.

Одной из важных задач решаемых на стадии проектирования АЭС является выбор водоподготовительной установки (ВПУ) для подготовки добавочной воды основных контуров. Выбор схемы обессоливания зависит от качества исходной воды и требований к подпиточной воде. В качестве исходной воды на ВПУ используется вода реки Дон следующего качества: $J_0 = 5,9$ мг-эк/дм³; $Щ_0 = 5,8$ мг-эк/дм³; $[Na^+] = 24$ мг/дм³; $[SO_4^{2-}] = 52$ мг/дм³; $[Cl^-] = 25$ мг/дм³; $[H_2SiO_2] = 12$ мг/дм³; $O_{кк} = 33$ мгО/дм³; $[H_2SiO_2] = 12$ мг/дм³. Таким образом, исходная вода характеризуется высокой жесткостью и щелочностью, и значительным содержанием органических веществ. К качеству подпиточной воды основных контуров предъявляются жесткие требования – $\chi \leq 0,2$ мкСм/см; $[H_2SiO_2] \leq 10$ мкг/дм³; $[Na^+] \leq 5$ мкг/дм³; общей органический углерод (ООУ) не более 150 мкг/дм³.

Одной из важных требование к ВПУ на АЭС это надежное получение обессоленной воды высокого качества.

- традиционное трехступенчатое химическое обессоливание на базе прямоточных ионитных фильтров с традиционной предочисткой (аналогичная схеме ВПУ на Нововоронежской АЭС-1);
- химическое обессоливание на базе противоточных ионитных фильтрах;
- обессоливание на базе мембранных методов (ультрафильтрации и обратного осмоса).

Для схемы на основе мембранных методов рассмотрены два варианта глубокого дообессоливания – с применением фильтра смешанного действия и установки электродеионизации. Последний вариант широко используется при проектировании ВПУ для энергоблоков ПГУ.

Традиционное химического обессоливания зарекомендовало себя вполне надежным и широко используется для получения добавочной воды на АЭС. Однако это технология водоподготовки морально устарела и связана с большим расходом реагентов (H_2SO_4 , $NaOH$) на регенерацию, что приводит к необходимости ведения довольно сложного реагентного хозяйства, системы нейтрализации стоков. Кроме того, ее

эксплуатация связана с образованием больших объемов высокоминерализованных сточных вод, высокими капитальными и эксплуатационными затратами.

Противоточные технологии ионного обмена, несмотря на явные преимущества (снижения расхода реагентов и воды на собственные нужды, уменьшения необходимого количества водоподготовительного оборудования и т.д.), не получили широкого применения в энергетике из-за сложности эксплуатации и высокой культуры обслуживания. Кроме того, не решена проблема образования сточных вод после регенерации фильтрующего материала, значительны затраты на реагенты и фильтрующие материалы.

Мембранные технологии, пользующиеся большой популярностью при проектировании ВПУ для блоков ПГУ, имеют не только ряд преимуществ перед традиционными технологиями, но и ряд недостатков. К преимуществам можно отнести высокое качество фильтрата, малый расход воды и реагентов на промывки, компактность установок, высокая степень автоматизации. Кроме того, образующийся концентрат с установок обратного осмоса имеет относительно невысокое солесодержание, что делает возможным его сброс в водоисточник без дополнительных мероприятий, за исключением возможного разбавления. К недостаткам относятся жесткие требования к качеству обрабатываемой воды, большой коэффициент собственных нужд воды, иногда достигающий до 50–60%, отсутствие высококачественных мембран отечественного производства.

Выполнен технологический расчет указанных схем получения добавочной воды, определены основные технологические, экологические и технико-экономические показатели.

Проведенный анализ выбранных схем обработки воды показал, что наиболее экономически и технически обоснованной технологией является обессоливание на базе мембранных методов с дообессоливанием на базе ионитных фильтров. Именно эта технология принята и утверждена к проектированию на Нововоронежской АЭС-2 (рис. 1).

Согласно выбранной схемы ХВО, очищаемая вода после подачи коагулянта поступает сначала в гидромеханический смеситель для осаждения образовавшихся в процессе коагуляции шлама, затем в отстойники-флокуляторы, в которых происходят процессы сорбции, коагуляции и созревания (образования) хлопьев. Коагулированная вода после узла осветления самотеком поступает в промежуточные баки коагулированной воды, после которых насосами коагулированной воды собирается в баках предварительно очищенной воды.

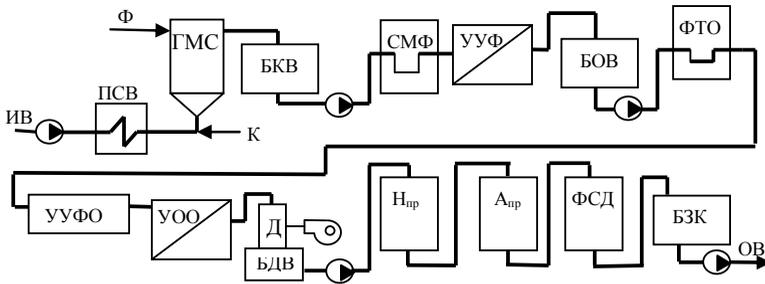


Рис. 1. Принципиальная технологическая схема ВПУ Нововоронежской АЭС-2: ПСВ – подогреватель сетевой воды; К – ввод коагулянта; Ф – ввод флокулянта; ГМС – гидромеханический смеситель; БКВ – бак коагулированной воды; СМФ – самопромывные фильтры; УУФ – установка ультрафильтрации; БОВ – бак осветленной воды; ФТО – фильтр тонкой очистки; УУФО – установка обеззараживания; УОО – установка обратного осмоса; Д – декарбонизатор; БДВ – бак декарбонизированной воды; Н_{пр} – противоточный Н-катионитный фильтр; А_{пр} – противоточный ОН-анионитный фильтр; ФСД – фильтр смешанного действия; БЗК – бак запаса конденсата

Далее вода насосами предварительно очищенной воды подается на установку самопромывных фильтров с номиналом фильтрации 200 мкм, после чего направляется на установки ультрафильтрации для дальнейшего снижения содержания взвешенных и органических веществ, а также соединений железа.

Осветленная вода после установок ультрафильтрации подается в баки осветленной воды, откуда насосами осветленной воды подается на фильтр тонкой очистки (5 мкм), затем проходит через установки ультрафильтрационного обеззараживания и далее направляется на установку обратного осмоса. Перед этой установкой в воду дозируют раствор антискалянта для предотвращения образования труднорастворимых соединений на поверхности мембран и периодически биоцид для предотвращения биообрастания мембран. Далее пермеат установок обратного осмоса подается на декарбонизаторы для удаления свободной углекислоты. После вода собирается в баках частично обессоленной воды, откуда насосами подачи частично обессоленной воды последовательно подается на противоточные Н-ОН-ионитные фильтры. Часть потока частично обессоленной воды насосами подается на брызгальные бассейны (предварительно в воду дозируется едкий натр для коррекции рН). После фильтров Н-ОН-ионирования, вода поступает в баки обессоленной воды, откуда насосами подачи обессоленной воды подается на фильтры смешанного действия с выносной регенерацией. Такая схема ВПУ гарантирует получение воды для подпитки контуров требуемого качества.

*А. В. Соснина, студ.; рук. Е. В. Козюлина, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ВЫБОР ВОДНО-ХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА НОВОВОРОНЕЖСКОЙ АЭС-2

Нововоронежская АЭС-2 - строящаяся станция, проект которой в процессе строительства уточняется и дорабатывается. Одним из направлений проектирования является выбор водно-химического режима (ВХР) второго контура.

ВХР второго контура предназначен для обеспечения минимального уровня загрязнений поверхностей нагрева парогенератора (ПГ) в процессе эксплуатации. Особенно важной задачей является подавление коррозии - эрозии оборудования, работающего в области влажного пара и двухфазных потоков. Для подавления коррозионных процессов одним из ключевых факторов является значение рН водной среды, образующейся на поверхности металла при конденсации пара. Скорость коррозии сталей можно существенно снизить путем повышения рН теплоносителя. Правила технической эксплуатации устанавливают нормы качества питательной воды ПГ, в соответствии с которыми величина рН питательной воды ПГ должна поддерживаться на уровне 9,0-9,2 ед. рН.

Для второго контура АЭС с ВВЭР традиционно применяется гидразинно-аммиачный водно-химический режим (ГАВР), но недостатком его является образование продуктов коррозии в конденсатно-питательном тракте и их накопление на теплообменных поверхностях ПГ, что приводит к коррозионному повреждению трубок ПГ.

Основным направлением совершенствования ВХР второго контура является применение органических аминов для коррекционной обработки рабочей среды второго контура. Применение органических аминов позволяет значительно повысить рН теплоносителя второго контура и уменьшить скорость коррозии железных сплавов.

Величина рН зависит от щелочных свойств амина и концентрации амина в водной фазе, определяемой коэффициентом распределения. Наилучшую защиту способны обеспечить амины, обладающие низкими значениями коэффициента распределения и высокими щелочными свойствами при рабочих температурах среды. Наиболее распространенными из них являются морфолин и этаноламин.

Этаноламин $\text{HO}-\text{CH}_2\text{CH}_2-\text{NH}_2$ (2-аминоэтанол) — простейший аминоспирт, бесцветная, вязкая, маслянистая жидкость с аминным запахом, смешивается с водой и спиртом в любых соотношениях. Водные растворы этаноламина обладают щелочной реакцией.

Морфолин — гетероциклическое соединение (тетрагидрооксазин-1,4), бесцветная гигроскопичная жидкость. Химическая формула $\text{HN}-(\text{CH}_2\text{CH}_2)_2\text{O}$. Смешивается во всех соотношениях с водой, органическими растворителями, устойчив при нагреве в присутствии кислот, растворов щелочей

Этаноламин и морфолин являются ингибиторами коррозии, обладают «моющим эффектом» (ускоряют вывод из оборудования шламов, слабо сцепленных с поверхностью), создают на поверхности металла защитные пленки, защищающие металл не только от коррозионного, но и от эрозионного износа.

С целью снижения эрозионно–коррозионного износа оборудования второго контура проведено опытно-промышленное испытание морфолинового и этаноламинового (ЭТА) ВХР второго контура. Испытание морфолинового ВХР проводилось на Ростовской АЭС, ЭТА ВХР – на Балаковской АЭС. Ранее на энергоблоках этих станций применялся гидразинно-аммиачный ВХР второго контура. Результаты испытаний представлены в таблице 1.

На рис. 1 приведены усредненные эксплуатационные значения рН при температуре 25 °С в потоках второго контура при рассматриваемых ВХР.

Испытания показали, что при переводе энергоблоков с ГАВР на морфолиновый и ЭТА ВХР наблюдается:

- снижение концентрации железа в питательной воде ПГ до значений менее 5,0 мкг/кг за счет повышения рН в двухфазных средах и выравнивания величины pH_{25} в потоках парового и конденсатно-питательного трактов;
- увеличение вывода железа с продувкой с 1 % при ГАВР до 9,4 % при морфолиновом и до 7 % при ЭТА ВХР от количества поступления железа в ПГ с питательной водой. Соответственно снизился и процент осаждения железа на теплообменной поверхности с 60 % при ГАВР примерно до 33 %;
- изменение удельной загрязненности теплообменной поверхности ПГ от 0 до 27 г/м² при морфолиновом и от 0 до 17 г/м² при ЭТА ВХР. Предельно-допустимый уровень загрязненности трубной системы ПГ - 150 г/м² при ведении морфолинового и ЭТА ВХР второго контура ориентировочно может быть достигнут за период с 11 до 12 лет эксплуатации энергоблока.

Таблица 1. Усредненные значения показателей качества питательной воды ПГ при ведении ГАВР (Ростовская АЭС), ЭТА и морфолинового ВХР

Питательная вода парогенераторов								
рН, ед. рН	УЭПН, мкСм/см	Морф, мг/кг	ЭТА, мг/кг	Аммиак, мкг/кг	Гидра-зин, мкг/кг	Кисло-род, мкг/кг	Железо мкг/кг	Медь, мкг/кг
8,8 – 9,2 (8,9-9,3) ¹ (9,0-9,2) ²	≤0,3	2,5-4,5 ¹	0,8-1,2 ²	Не норм	≥20 (≥10) ^{1,2}	≤10	≤15 (≤10) _{1,2}	≤3,0 (≤2,5) _{1,2}
Средние значения при ГАВР								
9,00	0,14	-	-	284	124	2,20	10,5	≤ 2,5
Средние значения при морфолиновом ВХР								
9,04	0,17	3,88	-	41	14	1,83	<5,0	≤ 2,5
Средние значения при ЭТА ВХР								
9,04	0,15	-	1,22	40	29	5,0	2,2	1,1

¹ При морфолиновом ВХР

² При ЭТА ВХР

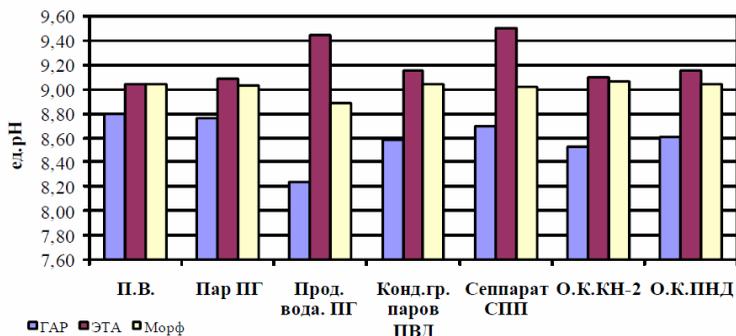


Рис. 1. Эксплуатационные значения рН₂₅ по потокам второго контура при различных ВХР второго контура

Таким образом, наиболее предпочтительным ВХР для АЭС с ВВЭР-1200 является этаноламиновый ВХР, обеспечивающий стабильно высокое значение рН питательной и продувочной вод ПГ, снижение скорости коррозии и, как следствие, снижение удельной загрязненности теплообменной поверхности ПГ отложениями соединений железа, что позволит обеспечить надежную работу ПГ в течение требуемого срока службы – 60 лет.

*Ю.А. Вацуро, студ.; рук. Е.Н. Бушуев д.т.н, доц.
(ИГЭУ, г.Иваново)*

ВЫБОР ВОДНОХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ПЕРВОГО КОНТУРА НОВОРОНЕЖСКОЙ АЭС-2

В настоящее время производятся строительно-монтажные работы на Нововоронежской АЭС-2 основанной на реакторе ВВЭР-1200. Предполагается, что новая станция заменит выводимую из эксплуатации Нововоронежскую АЭС-1. Поэтому актуальна задача выбора водно-химического режима (ВХР) первого контура, который должен обеспечить выполнение следующих функциональных требований:

- мягкое регулирование реактивности активной зоны реактора;
- подавление образования продуктов радиолиза при работе реактора на мощности;
- коррозионную стойкость конструкционных материалов оборудования и трубопроводов;
- минимальное количество отложений на поверхностях теплообменивающих элементов активной зоны реактора и парогенераторов;
- минимизацию накопления активированных продуктов коррозии.

Для регулирования реактивности активной зоны реактора используется борная кислота, которая в реакторных условиях имеет ряд положительных свойств. Она химически устойчива в реакционных условиях, хорошо растворима в воде и не образует малорастворимых соединений с катионами. Однако ее применение сопровождается понижением показателя рН, что увеличивает интенсивность коррозионных процессов конструкционных материалов.

Оптимальное поддержание необходимого рН в условиях борного регулирования обеспечивается посредством дозирования щелочи в реакторную воду. Для первого контура АЭС с реакторами ВВЭР, как правило, предусматривается ведение слабощелочного восстановительного аммиачно-калиевого ВХР. Добавление в контурную воду КОН и NH_3 позволяет получать стабильное значение рН на необходимом невысоком уровне. При работе реактора на мощности при высоких температурах, когда степень диссоциации борной кислоты незначительна, мала и диссоциация гидроксида аммония. Ввиду слабо выраженных щелочных свойств гидроксида аммония главным нейтрализующим реагентом является гидроксид калия. При понижении температуры усиливаются щелочные свойства NH_3 , что позволяет поддерживать необходимое значение рН без увеличения дозировки КОН.

Аммиак вводится также для подавления образования окислительных продуктов радиолитического разложения теплоносителя. Образующийся в процессе радиолитического разложения кислород и промежуточные короткоживущие окислительные продукты ускоряют процессы коррозии конструкционных материалов оборудования и, в первую очередь, оболочек ТВЭЛов. В условиях реакторного контура аммиак подвергается термическому и радиолитическому разложению с образованием водорода и азота. Образовавшийся водород необходим в теплоносителе для подавления радиолитического разложения воды, что способствует минимизации скорости коррозии.

Однако повышенные концентрации аммиака создают опасность охрупчивания циркониевых сплавов в результате наводороживания. Использование аммиака приводит к его сорбированию на фильтрах СВО и к раннему снижению рабочей обменной емкости. Частая регенерация ионитных фильтров служит причиной образования большого объема сточных вод, требующих переработки и захоронения.

Альтернативой дозированию аммиака в первый контур является подача газообразного водорода. Такое решение широко используется на зарубежных АЭС. Преимуществом данного способа является повышение стабильности поддержания ВХР при работе на пониженной мощности и, особенно, в режимах суточного маневрирования мощностью. Упрощается технология ведения ВХР в периоды пуска и расхолаживания. Кроме того, снижаются затраты на регенерацию фильтров СВО, а также замену фильтрующих материалов и утилизацию стоков.

Массовая концентрация борной кислоты в теплоносителе поддерживается в зависимости от запаса реактивности реактора. Текущая концентрация борной кислоты в течение топливного цикла реактора монотонно снижается с начальной концентрации около 7 г/дм^3 до минимальной около 10 мг/дм^3 . Снижение интенсивности роста отложений на тепловыделяющих поверхностях, предотвращение накопления активированных продуктов коррозии обеспечивается поддержанием суммарной концентрации ионов щелочных металлов (калия, лития и натрия) в соответствии с зависимостью их от текущей концентрации борной кислоты.

Предложена система химконтроля за состоянием теплоносителя. Для реализации АХК качества теплоносителя первого контура требуется установка дегазаторов, спецканализации, взрывобезопасного исполнения повышенной надежности. Поэтому автоматические анализаторы химконтроля устанавливаются лишь для измерения ключевых показателей качества теплоносителя.

*А.А. Афанасьев, студ.; рук. Е.Н. Бушуев д.т.н, доц.
(ИГЭУ, г.Иваново)*

СИСТЕМА ОЧИСТКИ ТРАПНЫХ ВОД НОВОВОРОНЕЖСКОЙ АЭС-2

Система переработки трапных вод (СВО-3) на АЭС с реакторами ВВЭР предназначена для сбора и переработки жидких радиоактивных вод, образующихся в процессе эксплуатации АЭС, с целью минимизации их объема перед дальнейшей их переработкой, и получением чистого конденсата, используемого на нужды станции.

Основными функциями СВО-3 являются:

- 1) сбор и переработка радиоактивных сточных вод в зависимости от их солевого состава и радиоактивности;
- 2) получение чистого конденсата, используемого на собственные нужды станции;
- 3) очистка дебалансных стоков до требований норм на сброс в окружающую среду, включая химические компоненты и активность, с целью нераспространения жидких радиоактивных сред за пределы АЭС.
- 4) получение минимального количества жидких радиоактивных сред, образующихся в процессе переработки трапных вод, перед дальнейшей их переработкой методом цементирования.

Основные принципы, закладываемые в проект системы переработки трапных вод, сформированы на требованиях по сокращению количества среднеактивных и низкоактивных отходов АЭС.

На СВО-3 Нововоронежской АЭС-2 применены новые, перспективные технологии и методы очистки радиоактивных вод, которые будут использоваться в дальнейшем на новых вводимых в эксплуатацию АЭС.

Установка переработки трапных вод СВО-3 включает следующие стадии обработки:

- 1) сбор и накопление технологических вод подлежащих переработке;
- 2) окисление органических соединений методом ультразвукового облучения раствора в двух блоках окисления для перевода радионуклидов коррозионного происхождения (Co, Fe, Mn) в нерастворимую форму первой ступени в режиме циркуляции раствора;
- 3) ионоселективное осаждение Cs путем введения в раствор сорбентов;
- 4) микрофльтрацию образующейся суспензии на мембранных фильтрах первой ступени с отводом фильтрата в баки второй ступени очистки, концентрата в фильтры-сгустители и дальнейшую переработку в установку цементирования;

- 5) окисление органической составляющей методом ультразвукового и ультрафиолетового облучения раствора в двух блоках окисления второй ступени;
- 6) ионоселективное осаждение Cs путем введения в раствор сорбентов;
- 7) микрофильтрацию образующейся суспензии на двух мембранных фильтрах второй ступени и с отводом фильтрата на концентрирование в выпарные аппараты и дальнейшую переработку в установку кондиционирования солей – с получением сухой соли и возвращением концентрата в баки первой ступени очистки;
- 8) сгущение концентрата на двух фильтрах-сгустителях с отводом фильтрата в баки первой ступени очистки и отводом концентрата на установку цементирования.

Так же предусмотрена последующая очистка нерадиоактивных вод методом выпаривания и очистка дистиллята методом ионного обмена.

Спроектированная СВО-3 на Новоронежской АЭС-2 должна обеспечить сбор и переработку 4200 м³/год трапных вод со средним солесодержанием не более 4,0 г/дм³ с получением чистого конденсата и жидкого радиоактивного шлама со средним содержанием взвешенных частиц до 400 г/дм³, солевого концентрата с солесодержанием 400–500 г/дм³; очистку дебалансных стоков до требований норм на сброс в окружающую среду, включая химические компоненты и активность, с целью нераспространения жидких радиоактивных сред за пределы АЭС.

*А.С.Сухарев, студ., рук. Б.М.Ларин, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВОДОПОДГОТОВКИ РОСТОВСКОЙ АЭС НА ОСНОВЕ МЕМБРАННЫХ МЕТОДОВ

В настоящее время перед энергетикой встает ряд важных задач по модернизации действующего оборудования. Это относится и к водоподготовительным установкам. Традиционные ВПУ, основанные на химическом обессоливании природной воды, всё чаще в наибольшей степени показывают своё технологическое, экологическое и экономическое несовершенство. Кроме того, традиционные ВПУ начинают проигрывать по многим показателям набирающим популярность новым технологиям водообработки, к которым относятся мембранные методы.

Целью данной работы является исследование мембранных методов водообработки, создание и обоснование схемы подготовки обессоленной воды для Ростовской АЭС на основе этих методов и сравнение этой схемы со схемами химического и термического обессоливания природной воды.

Сущность мембранной технологии очистки воды заключается в продавливании загрязненной воды через полупроницаемые мембраны, имеющие поры, сопоставимые по размерам с размерами загрязнителей воды. В энергетике нашли применение следующие мембранные процессы: ультрафильтрация, нанофильтрация, обратный осмос с размерами пор мембран 0,02-0,15 мкм, 0,001-0,01 мкм, до 0,001 мкм соответственно. Каждый тип мембран отличается повышенной чувствительностью к присутствующим в обрабатываемой воде различным загрязнениям: взвешенным, коллоидным, органическим веществам и т.д. Поэтому соответствующий мембранный процесс предназначен для удаления определенных загрязнений и примесей. Ультрафильтрация позволяет задерживать тонкодисперсные и коллоидные примеси, некоторые макромолекулы, органические вещества с молекулярной массой, позволяет при неизменном солевом составе, осуществлять осветление воды и её обеззараживание без применения химических реагентов. Нанофильтрационные мембраны несут постоянный электрический заряд, который отталкивает от поверхности одноименно заряженные ионы. Эффект отталкивания возрастает с увеличением заряда иона. При этом удаляется большая часть органических веществ, катионы кальция, магния, железа, алюминия и тяжелых металлов. Обратный осмос позволяет удалить из обрабатываемой воды почти 96-98% растворенных солей. Конструкция мембран этих процессов имеет небольшие различия. Наибольшее распространение получили рулонные элементы, конструкция которых представляет собой цилиндр с внутренней соосной перфорированной трубкой для сбора пермеата. Рулонные элементы обладают большой удельной поверхностью фильтрации в единице объема одного элемента и достаточно легко отмываются от накопленных загрязнений. Рулонные элементы изготавливаются из плоских заготовок, которые наматываются на центральную фильтроотводящую трубку. Пакеты, включающие обратноосмотическую мембрану, турбулизатор и дренажную сетку, одной кромкой приклеиваются к центральной трубке. Противоположная кромка заклеена. После намотки пакета он обертывается герметичной пленкой или стеклопластиком[1].

В схемах водоподготовки мембранные установки могут применяться самостоятельно или в комбинации с традиционными установками.

В какой позиции схемы следует располагать данные установки, зависит от многих факторов, но главным из них является качество исходной воды и необходимое качество обессоленной воды. Несмотря на достоинства мембранных технологий, на многих электростанциях на последних ступенях водообработки всё ещё стоят ионитные фильтры, поскольку мембранные установки пока уступают им по надежности получения глубокообессоленной воды. Следует отметить, что мембранные установки на первых ступенях очистки воды принимают наибольшую нагрузку по примесям и вопреки паспортным характеристикам преждевременно выходят из строя. Поэтому традиционная предочистка (осветлители и механические фильтры) по-прежнему будет иметь весомое значение в водоподготовке.

Мембранные установки рассчитываются и проектируются по специальным методикам. Расчет может производиться вручную либо с использованием специализированных программ (например, ROSA для УОО). Примечательно, что мало того эти методики имеют много недостатков, но они ещё являются ориентировочными, приближенными, не учитывают влияние многих факторов, не являются наглядными, используют различные подходы при расчете и таким образом могут служить источником неверных выводов для проектировщиков.

С помощью программы ROSA был произведен расчет схем УОО в их различных комбинациях. Целью расчетов было подобрать такую схему, которой отвечало бы высокое гидравлическое КПД при хорошем качестве пермеата. Данная программа позволила рассмотреть множество таких схем, но самой оптимальной оказалась двухступенчатая УОО по концентрату и пермеату, что позволяет сократить объем стоков, иметь высокий КПД установки и получить высокое качество пермеата. Вторая ступень по пермеату позволяет улучшить его качество, но не значительно, в отличие от первой ступени, где очистка воды происходит в десятки раз. Кроме того, качество пермеата последних стадий каскада по концентрату сопоставимо с качеством концентрата второй ступени по пермеату, что дает основание поставить в таком случае ограничения к использованию УОО по концентрату, когда качество пермеата последних стадий такое же как у концентрата УОО второй ступени по пермеату. Применение многокаскадных схем по концентрату требует применения большого количества реагентов, т.к. высокое солесодержание очищаемого концентрата вызывает риск выпадения осадков на мембранах. Следует отметить, что для одного и того же водисточника можно предложить немало разных мембранных схем, всё зависит от их технико-экономических показателей и их значения в данной схеме ВПУ.

Таким образом, учитывая всё выше сказанное, для Ростовской АЭС может быть подобрана такая схема, когда начало процесса водообработки начинается в осветлителе, обессоливание происходит на мембранных установках, а доочистка на ФСД. Данная схема выглядит наиболее предпочтительной, т.к. исходная вода, отбираемая из Цимлянского водохранилища, имеет повышенную минерализацию, а требования, предъявляемые к добавочной воде контуров АЭС, очень высоки, что вынуждает использовать ионитные фильтры на стадии доочистки. Что касается узла обессоливания на базе мембранных методов, то прежде необходимо тщательно изучить строение мембран, состав примесей исходной воды и их влияние на мембраны, в соответствии с этим подобрать тип мембранных элементов, определиться и обосновать количество ступеней соответствующего мембранного процесса, при необходимости в придачу к осветлителю установить узел ультрафильтрации, подобрать компоновку схемы, определиться с областью использования концентрата: его сброс, рециркуляция, использование для собственных нужд. Не исключено, что решение этих и других задач будет требовать нестандартного, творческого подхода.

Библиографический список

1. **Ларин Б.М.** Обработка воды на ТЭС и АЭС. Иваново, 2010.

*А.В. Колегов, асп., Н.В. Еремин, студ.; рук. А.Б. Ларин к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ХИМКОНТРОЛЯ ЗА ВОДНЫМ РЕЖИМОМ ЭНЕРГОБЛОКА ТЭС С ПГУ

Водно-химический режим котлов-утилизаторов определяется требованиями к качеству водного теплоносителя. Ввиду частых остановов энергоблоков, больших водяных объемов и поверхностей нагрева, особенностей дозируемых реагентов, не всегда удастся выдерживать проектные (заводские) нормы качества водного теплоносителя котлов-утилизаторов ПГУ, что требует информативного и непрерывного химконтроля.

На кафедре ХХТЭ ИГЭУ разработана методика косвенного определения нормируемых и диагностических показателей качества питательной и котловой воды блоков ПГУ, использующих гидразинно-аммиачный водный режим (ГАВР). Особенностью схемы котла-утилизатора блока ПГУ является наличие контуров низкого давления

(НД) и высокого давления (ВД), содержащих барабаны и циркуляционные системы. Методика ИГЭУ предполагает измерение χ , $\chi_{\text{н}}$ и рН в питательной и котловой воде контуров ВД и НД, и расчет ряда основных показателей: концентрации аммиака, хлорида натрия, форм углекислоты.

Такой подход позволяет повысить информативность химконтроля и обеспечивает диагностику состояния ВХР по быстротекущим процессам.

Методика проверена на ГТЭС «Терешково» (г. Москва). Отмечена высокая надежность системы автоматического химконтроля, основанная на измерениях удельной электропроводности и рН теплоносителя, а также, высокая информативность системы химико-технологического мониторинга.

*А.В. Колегов, асп., А.Я. Сорокина, инж.; рук. А.Б. Ларин к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОДНО-ХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ЭНЕРГОБЛОКА ПГУ-210

В качестве объекта промышленной реализации методики ИГЭУ был принят энергоблок ПГУ-210 МВт ГТЭС «Терешково» (г. Москва). Испытания системы химконтроля (ХК) и водно-химического режима (ВХР) проводились в два этапа с октября по декабрь 2012 года.

На основании исследований было установлено следующее:

1. Наиболее надежными и точными являются измерения удельной электропроводности охлажденных проб водного теплоносителя (вода и пар), приведенные согласно требованиям к температуре 25 °С. Однако, следует заметить, что численные значения удельной электропроводности химобессоленной воды ($\chi_{\text{хов}}$) после ФСД в ряде случаев занижены.

2. Измерения рН являются менее точными и достоверными по сравнению с измерением удельной электропроводности и требуют учета температуры и состава примесей измеряемой среды.

При косвенных измерениях рН, как это делается анализатором Deltoson рН по измерению χ и $\chi_{\text{н}}$, на показания рН влияют ионы водорода и углекислоты. В условиях повышенного содержания углекислоты в питательной воде показания рН могут завышаться.

3. Фактическая концентрация аммиака рассчитывается по измерениям χ , $\chi_{\text{н}}$, рН и достаточно хорошо согласуется с измеренными аналогами. Степень концентрирования ($K_{\text{к}}$) котловой воды по отноше-

нию к питательной воде по хлоридам составляет от 6 до 8, большая часть бикарбонатов подвергается термолизу с выносом CO_2 в пар и образованием CO_3^{2-} ионов.

4. Необходимо рассмотреть мероприятия по повышению качества автоматического химконтроля, по снижению концентрации углекислоты в добавочной и питательной воде, по проведению консервационных мероприятий на периоды остановов оборудования.

*А.О.Коршак, студ.; рук. Б.М.Ларин д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ЭЛЕКТРОННЫЙ ТРЕНАЖЕР «ЭКСПЛУАТАЦИЯ СВО-1 И СВО-2» ДЛЯ ЭНЕРГБЛОКОВ АЭС С ВВЭР

В настоящее время система образования нашей страны видоизменяется. С недавнего времени ИГЭУ перешёл на двух уровневую систему образования (бакалавр, магистр). По этой причине уменьшился объем лекционного материала и значительно увеличился объем лабораторных работ. Так же в последнее время более 30% выпускников кафедры «Химии и химические технологии в энергетике» идут работать на атомные станции. Все эти причины подтолкнули к созданию электронного тренажера по обучению студентов ведению водно-химического режима 1 контура АЭС.

Тренажер является составной частью комплекса на базе симулятора блочного щита управления 3 блока Калининской АЭС. В состав этого комплекса входят учебный материал и симуляторы работы основных систем первого контура блока ВВЭР-1000. В объем разработки входят следующие разделы: разработка электронного учебника с тестирующей частью и разработка лабораторных работ, позволяющая изучить процессы, происходящие в I-ом контуре.

Электронный тренажер состоит из трех частей: информационной, тестирующей и экспериментальной.

Информационная часть включает следующие разделы: описание основного оборудования первого контура, характеристика и назначение ВХР-1, узлы дозирования реагентов, установки спецводоочистки.

Тестирующая часть тренажера предназначена для контроля степени усвоения знаний. После изучения студентом материала, ему предлагается тест, который содержит некоторое количество вопросов. По окончании тестирования выдается протокол результатов, который содержит в себе количество правильных ответов, общее количество вопросов, а также время проведения тестирования и окончательную оценку.

Экспериментальная часть включает лабораторные работы, в них рассматриваются основные режимы работы установок спецводоочисти СВО-1 и СВО-2. Лабораторные работы выполнены с помощью программ Adobe Flash Professional CS5.

Лабораторные работы состоят из трех частей: теоретической, информационной и практической.

Теоретическая часть позволяет ознакомиться с основными моментами и особенностями работы. В ней содержатся теоретические знания, нужные для успешного понимания выполняемой работы.

В информационную часть входят вспомогательные материалы, которые могут пригодиться студенту при выполнении лабораторной работы. К разделам информационной части относятся: принципиальная последовательность операций при пуске блока; состав оборудования, задействованного в операциях вывода на мощность;

Практическая часть – это собственно лабораторная работа. Представлена схема установки со всеми нужными для проведения пуска объектами и пользователь, выполняя пошагово рекомендации, выполняет работу.

Программа оформлена не только в виде текста. Присутствуют рисунки, схемы, таблицы, графики, видео-ролики. Вся информация представлена наглядно и легко, доступна для понимания студента. Схемы сделаны с учетом ГОСТов в едином стиле. Программа является открытой, и может дополняться разными новыми сведениями, по мере их появления. Ее можно адаптировать под любую операционную систему, поддерживающую Flash Player.

Программа создана для глубокого изучения студентами методов и средств ведения водно-химического режима первого контура АЭС с ВВЭР. В ней содержится основная информация по ВХР первого контура и системам его поддержания.

Достоинствами данной обучающей системы являются:

- ✓ Повышение наглядности и качества информации;
- ✓ Возможность дистанционного обучения;
- ✓ Возможность контроля дистанционным путем.

Это наиболее универсальный способ изучить тему и подготовиться практически к реальной эксплуатации сложных систем обеспечения ВХР первого контура.

Следующим этапом развития будет отладка электронного тренажера в целом, увеличение объема тестирующей части в АУК, введение в практическую часть тренажера ХК.

Библиографический список

1. **В.Н. Воронов, Б.М. Ларин, В.А. Сенина** Химико-технологические режимы АЭС с ВВЭР. М.: Издательский дом МЭИ. 2006

*Е.А. Щеголева, студ.; Б.М. Ларин д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

**МУЛЬТИМЕДИЙНЫЙ ЭЛЕКТРОННЫЙ УЧЕБНИК
«ВХР 2 КОНТУРА АЭС с ВВЭР-1000»**

Основным назначением мультимедийного учебника является обучение студентов специальностей «Технология воды и топлива на ТЭС и АЭС» и «Атомные электростанции», ведению водно-химического режима 2 контура АЭС с ВВЭР-1000.

Учебный конспект должен использоваться обучаемыми в качестве опорного материала при самоподготовке и формированию у обучаемых знаний по системам поддержания ВХР 2 контура АЭС.

После изучения данной программы студент должен быть способен:

1. Объяснить задачи и назначение ВХР 2 контура;
2. Перечислять основное оборудование 2 контура и его назначение;
3. Называть системы обеспечения ВХР и их назначение;
4. Знать функции каждой установки спецводоочистки (СВО);
5. Объяснять технологические операции, связанные с эксплуатацией систем СВО;
6. Перечислять основное оборудование систем СВО.

Создаваемый мультимедийный учебник является составной частью комплекса на базе симулятора блочного щита управления 3 блока Калининской АЭС. В состав этого комплекса, помимо представленной программы, входит учебный материал и симуляторы работы основных систем первого контура блока ВВЭР-1000.

Мультимедийный учебник представляет собой SWF-файлы, которые можно просматривать с помощью программы для воспроизведения flash-контента—[Adobe Flash Player](#) или аналогичных плееров swfdec, Gnash. Стандартным для скомпилированных flash-файлов (анимации, игр или интерактивных приложений) является .SWF расширение(Shockwave Flash или Small Web Format). Видеоролики в формате Flash представляют собой файлы с расширением FLV или F4V (при этом Flash в данном случае используется только как контейнер

для видеозаписи). Расширение FLA соответствует формату рабочих файлов в среде разработки. В качестве этой среды разработки выступает программа AdobeFlashProfessionalCS5, на основе мультимедийной платформы компании Adobe для создания веб-приложений или мультимедийных презентаций.

Внесение изменений и пополнение информации мультимедийного учебника может проводиться в любое время в связи с простой формой внесения информации.

Данное учебное пособие включает 5 разделов: характеристика и назначение ВХР-2, узлы дозирования реагентов, установки спецводоочистки, установки деаэрации, БОУ.

В первом разделе рассматривается ВХР-2, его назначение, описание, так же рассматривается оборудование второго контура и его взаимосвязь с ВХР-2. Второй раздел посвящен вопросам, касающимся приготовления и дозирования реагентов во второй контур для поддержания ВХР-2. В третьем разделе рассматривается установка очистки продувочной воды парогенератора СВО-5. В четвертом разделе рассматривается оборудование деаэрации, описаны основные процессы, происходящие в деаэраторе. В пятом разделе рассматривается блочная обессоливающая установка (БОУ), показана ее взаимосвязь с ВХР-2, рассмотрено основное оборудование.

1. Достоинствами данного обучающего пособия являются:
2. Повышение наглядности и качества информации.
3. Возможность дистанционного обучения.
4. Возможность увеличения качества и количества усвоенного материала.
5. Своевременная корректировка данных.

Библиографический список

1. **В.Н. Воронов, Б.М. Ларин, В.А. Сенина**, Химико-технологические режимы АЭС с ВВЭР. М. Изд. Дом МЭИ, 2006

*А.А. Гомырова, студ.; рук. Е.Н. Бушуев д.т.н, доц.
(ИГЭУ, г.Иваново)*

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА ПО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ РАСЧЕТУ ОСНОВНЫХ СХЕМ ВОДОПОДГОТОВКИ НА ТЭС

На первом этапе проектирования установок водоподготовки на ТЭС для получения добавочной воды подпитки энергетических котлов и теплосети ставится задача выбора наиболее оптимальной схемы водообработки для конкретных условий (показателей качества исходной воды, требуемой производительности) проектируемого объекта. Существование множества возможных вариантов схемных решений позволяющих получить воду одинакового качества, размытие границ применимости основных технологий обессоливания приводит к необходимости оперативного проведения технологических расчетов приемлемых схем водообработки и выбора из них наиболее оптимальной. Известные программы по расчету ВПУ («ROSA», «CADIX», «X-Calc», «IP-PRO» и др.) предназначены для технологического расчета только одной схемы обессоливания или лишь одной стадии обработки.

На кафедре ХХТЭ ИГЭУ разрабатывается программный продукт (ПП) «ПРОЕКТ ВПУ» позволяющий смоделировать большое количество схем ВПУ из ее отдельных элементов и проводить расчет этих схем.

ПП создан на основе разработанных математических моделей расчета основных схем обработки воды на ТЭС. Подход основанный сборке математической модели схемы ВПУ из моделей отдельных элементов потребовал и создание особой методики их расчета.

Наличие периодически работающего водоподготовительного оборудования, приводит к необходимости составления формальных схем ВПУ с указанием всех водных потоков участвующих в эксплуатации этого оборудования, хотя и некоторые из них не совпадают по времени.

ПП «ПРОЕКТ ВПУ» позволяет в рамках одного проекта (объединение схем) проводить полный технологический расчет для различных схем обессоливания и разных исходных данных. В связи с тем, что для конкретных исходных данных редко можно предложить самую оптимальную схему по всем критериям (экологическим, технологическим и технико-экономическим), в программе рассчитываются все эти показатели, а выбор оптимального варианта остается за пользователем.

ПП основывается на единстве интерфейса взаимодействия между отдельными элементами, который не зависит от их внутренних алгоритмов, что делает ПП открытым к добавлению новых элементов.

ПП может находиться в четырех состояниях:

- ввод изображения схемы водообработки;
- ввод необходимых данных для расчета;
- расчет схемы водообработки;
- представление результатов расчета.

На первом этапе пользователь komponует на экране монитора с помощью специального встроенного графического редактора (рис. 1) расчетную схему водообработки из элементов различных типов (осветлителя, Na-катионитных фильтров, испарителя и т.д.) и определяет связи между ними.

После создания схемы программа переходит в режим ввода данных, на этом этапе для элементов схемы (оборудования) вводятся необходимые для расчета исходные данные.

После ввода всех требуемых данных приступают к расчету схемы водообработки путем выбора иконки «расчет». На первом этапе расчета проводится проверка на наличие обязательных элементов («источник воды», «потребитель воды») в схеме, а также проверка на корректность созданных связей между элементами схемы, которая определяется достаточностью данных для расчета. При обнаружении ошибок в окне сообщений указывается на неправильное соединение.

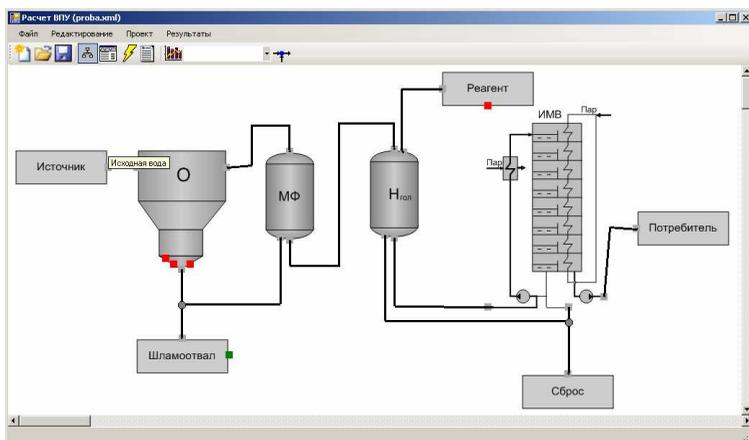


Рис. 1. Экранная форма редактирования схемы водообработки

Если в ходе длительного расчета не достигается требуемая точность, то расчет прекращается и пользователю сообщается о невозможности получения результатов, что может свидетельствовать о некорректности исходных данных или об ошибках при формировании схемы водообработки.

После проведения расчета программа переходит в режим представления результатов расчета, в ходе которого можно получить результаты проведенного расчета для любого отдельного элемента, а также общий отчет для схемы в целом. Результаты расчета могут быть распечатаны или записаны в текстовый файл формата rtf. Эти два вида отчетов используют файл шаблона в универсальном формате rtf, что позволяет настроить представляемые в отчетах результаты расчетов под конкретного пользователя (для этого достаточно нужным образом настроить файл шаблона).

В ходе расчета определяются технологические и экологические показатели работы ВПУ, которые характеризуют рассчитываемую схему с различных сторон. Это позволяет выявить основные преимущества и недостатки принимаемого решения.

Все чаще перед персоналом химцеха ТЭС ставятся задачи замены устаревшего оборудования, изменение действующей технологии водоподготовки в связи с изменением источника водоснабжения, ухудшением качества воды в источнике воды (часто из-за увеличения содержания органических веществ), ужесточением экологических требований, возникновением проблемы утилизации шлама осветлителя и т.д. Данный ПП позволяет проводить технологический расчет предлагаемой реконструкции, при этом определяются характеристики, дающие возможность оценить эффективность перехода на новую технологию водообработки.

Применение ПП в процессе обучения студентов позволит использовать современный уровень проведения технологических расчетов, комплексный подход по характеристике технологий водоподготовки и дает возможность сосредоточиться на принятии технологических решений.

В настоящее время часто предлагаются новые технологии водоподготовки, с недостаточной технической информацией о них и при этом она носит в основном рекламный характер – превозносятся преимущества предлагаемых технологий и при этом замалчиваются её недостатки. Получаемые результаты с помощью ПП позволяют объективно характеризовать эти технологии водообработки.

*О.В. Тихомирова, А.Л. Кузнецов, студ.;
рук. Е.В. Козюлина, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОБУЧАЮЩЕГО КОМПЛЕКСА «ТЕОРИЯ ГОРЕНИЯ НАТУРАЛЬНЫХ ТОПЛИВ»

В настоящее время наблюдается широкое применение информационных технологий в университетском образовании, базирующимся на использовании персональных компьютеров. Вследствие информатизации образовательных учреждений возникает необходимость создания и внедрения в учебный процесс различных автоматизированных обучающих систем и электронных учебников.

Для решения этой проблемы все более актуальной становится разработка собственных электронных информационных ресурсов по каждой дисциплине.

Возможность использования таких ресурсов в учебном процессе позволяет обучающемуся получить расширенную информацию по изучаемому предмету, увеличивает его образовательный потенциал, обеспечивает возможность получения непрерывного качественного образования. Наличие подобных обучающих комплексов призвано организовать активную самостоятельную работу студентов, повысить интерес к изучаемому предмету и качество профессионального обучения.

Автоматизированный учебный курс «Теория горение натуральных топлив» входит в состав электронного учебника «Технология топлива и энергетических масел». Автоматический обучающий комплекс (АОК) разрабатывается для изучения роли физических процессов (тепло- и массообмена, характера движения газов, аэродинамики, теплового и воздушного режимов топки) в протекании химических реакций горения. Глубокое изучение физико-химических процессов сжигания органических топлив и топочных процессов в целом предусмотрено в подготовке инженеров в области теплоэнергетики и промышленной теплотехники.

Представленный автоматический обучающий комплекс генерирует в себе теоретические данные сразу из нескольких литературных источников и ресурсов интернета, и эффективно способствует интенсификации учебного процесса.

При разработке используются следующие источники:

1. Белосельский Б.С., Соляков В.К. Энергетическое топливо.-М.: Энергия,1980.

2. Белосельский Б. С. Технология топлива и энергетических масел: учебник для вузов/ Б.С. Белосельский – 2-е изд., доп.- М: издательство МЭИ, 2005.

3. Справочник химика – энергетика. Под общ. ред. С.М. Гурвича. В 3-х т. Изд. 2-е, перераб. и доп. М., «Энергия», 1972.

4. Теплотехнический справочник. Изд. 2-е, перераб. Под. ред. В.Н. Юренева и П.Д. Лебедева. В 2-х т. М., «Энергия», 1976.

5. Теория горения и топочные устройства. Под ред. Д.М. Хазмаляна. Учебное пособие для студентов высших учебных заведений. М., «Энергия», 1976.

6. Зимина О.В., Кириллов А.И. Печатные и электронные учебники в современном высшем образовании: Теория, методика, практика. М.: «МЭИ», 2003.

7. http://elibrary.ru/query_results.asp

8. <http://method.saitar.com/index/0-14>

Теоретическая часть автоматического обучающего комплекса включает в себя следующие разделы:

- «Статика горения». Рассмотрены расчеты по статике горения и контроль за процессами горения;
- «Динамика горения». Изложены основы кинетики реакции горения, а так же теория теплового воспламенения Н.Н. Семенова;
- «Тепло-массообмен и аэродинамика процессов горения». Рассматриваются физические процессы, сопутствующие процессу горения и аэродинамические принципы классификации сжигания топлива;
- «Горение натуральных топлив». Подробно рассмотрена теория горения газообразных, жидких и твердых топлив.

Электронный учебник обладает простым и удобным механизмом навигации; восприимчив к новой информации и использованию мультимедийных возможностей, позволяющих сделать содержание более наглядным и понятным; подробно иллюстрирует в динамике различные виды информации; имеет включение специальных фрагментов, моделирующих течение многих физических и технологических процессов; обладает развитым поисковым механизмом за счет использования гипертекстовых ссылок

В будущем планируется осуществить ввод контроля знаний – компьютерное тестирование, которое будет объективно оценивать знания студента по каждой изученной им теме.

Автоматический обучающий комплекс выполнен в операционной системе Windows, иллюстрационная часть создана с помощью редак-

тора PowerPoint, элементы анимации разработаны с использованием программных продуктов PowerPoint, Photoshop.

*А.Н. Королёва, В.А. Курылёва, студ.; рук. Е.В. Козюлина, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, Иваново)*

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОБУЧАЮЩЕГО КОМПЛЕКСА «ОРГАНИЧЕСКОЕ ТОПЛИВО»

Одной из основных дисциплин у студентов, обучающихся по профилю «Технология воды и топлива на ТЭС и АЭС» является «Технология топлива и энергетических масел». В число главных разделов данного курса входит «Органическое топливо». Этот раздел достаточно обширный и требует особого внимания к его рассмотрению.

В настоящее время особенно заметно стремление к переходу различных видов информационных ресурсов в электронный формат. Он обладает сразу несколькими преимуществами по сравнению с печатным: во-первых, является наиболее доступным; во-вторых, его легко редактировать и дополнять; в-третьих, возможно дополнение теоретической информации мощными наглядными средствами.

Среди различных источников энергии, используемых и настоящее время, органическому топливу принадлежит ведущая роль. Органическое топливо для большинства стран мира, в том числе и для РФ, является основным источником энергии.

Горючие ископаемые образовались из органического вещества растений и микроорганизмов, живущих на Земле в основном 0,5—500 млн. лет назад. Различия встречающихся в земной коре видов природного органического топлива обусловлено особенностями исходных органических остатков, из которых они формировались, а также особенностями в преобразовании, которым подвергались эти остатки. По современным представлениям все основные группы веществ (углеводы, липоиды, белки, лигнины), имевшиеся в составе органических остатков, при определенных условиях могли принять участие в формировании горючих ископаемых (их содержание приведено в табл.1). В условиях заболоченной суши накопление органического материала происходило преимущественно за счет отмерших высших растений. Трансформация их органических остатков привела в дальнейшем к образованию горючих ископаемых класса гумолитов.

Органические остатки, накапливавшиеся на дне прибрежных зон морей и океанов, состояли в основном из разложившихся одноклеточных организмов. Подвергаясь превращениям в условиях полного от-

сутствия кислорода, они образовали так называемый сапропель (в переводе «гниющий ил»), из которого далее формировались горючие ископаемые класса сапропелитов.

Таблица 1. Состав исходного органического материала

Органический материал	Содержание в сухом веществе, %			
	углеводов	лигнина	белков	липоидов
Деревья, травы	50-70	20-30	1-10	1-10
Мхи	30-50	8-12	15-20	7-10
Одноклеточные водоросли	20-40	0	20-30	20-30
Бактерии	5-20	0	50-80	10-30

К гумолитам относят торф и большинство ископаемых углей, к сапропелитам — некоторые сравнительно редко встречающиеся угли, а также большинство горючих сланцев, нефть и природный горючий газ.

Таблица 2. Элементарный химический состав горючей массы различных видов топлива.

Топливо	Состав горючей массы, %				
	C ^r	W ^r	O ^r	N ^r	S ^r _{ор+к}
Древесина	51	6	42,5	0,5	-
Торф	58	6	33	2,5	0,5
Бурый уголь	64-77	4-6	15-25	1	0,5-7,5
Каменный уголь: длиннопламенный тощий	75-80	5-6	10-16	1,5	0,5-7
	88-90	4-4,5	3-4	1,5	1-3
Антрацит	90-93	2-4	2-4	1	0,5-2
Горючие сланцы	60-65	7-9	10-17	1	5-15
Мазут	86-88	10-10,5	0,5-0,8		0,5-3

Данный автоматизированный обучающий комплекс совмещает теоретические сведения сразу из нескольких литературных источников. На текущий момент в нём наиболее подробно рассмотрен один вид органического топлива – это твёрдое топливо. Информация о нём разделена на несколько частей:

- «Введение». В этом разделе подробно рассматривается происхождение различных видов органического топлива; приводятся сравнительные данные по запасам органического топлива и других энергоресурсов.

- «Глава 1. Органическое вещество твёрдого топлива». В этой главе рассматривается химическое строение и свойства твёрдого топлива; процесс его термического разложения; процесс низкотемпературного окисления; петрографический состав углей; промышленная классификация углей.

- «Глава 2. Влага твёрдого топлива». В этой главе рассмотрены формы связи влаги с топливом; технологические показатели влажности топлива; влияние влаги на качество топлива.

- «Глава 3. Минеральные примеси твёрдого топлива». В этой главе рассматривается общая характеристика минеральных примесей.

- В главе 4 рассматриваются физические свойства твёрдого топлива, такие как плотность, сыпучесть, и т.д.

В следующем этапе работы будут подробно изложены теоретические сведения о жидких и газообразных топливах. Также планируется включить в образовательный комплекс результаты эмпирических исследований органического топлива. По окончании изучения изложенного материала, студентам будет предложено пройти проверочный тест по полученным знаниям.

Е. В. Гамагина, Е. А. Яблокова, студ.;
рук. Е. В. Козюлина, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

РАЗРАБОТКА ОБУЧАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ «МАСЛА И КОНСИСТЕНТНЫЕ СМАЗКИ В ЭНЕРГЕТИКЕ»

Курс «Энергетическое топливо» является основным по подготовке студентов по профилю «Технология воды и топлива на ТЭС и АЭС». Одним из разделов этого курса является раздел «Энергетические масла и консистентные смазки».

Масла и консистентные смазки широко применяются в энергетике, с целью уменьшения трения в машинах и механизмах, снижения износа и охлаждения трущихся поверхностей, защиты их от коррозии, а так же для герметизации узлов трения. Правильный выбор смазочных материалов — необходимое условие обеспечения долговечности и технологической надежности работы машин и механизмов.

К маслам и консистентным смазкам предъявляются повышенные требования, это связано с повышением цен на нефть и продукты её переработки. Масла должны обеспечивать максимально возможный срок службы и предотвращать образование отложений на поверхностях. Основные требования, предъявляемые к энергетическим маслам: высокая химическая, термическая стабильность, низкая температура застывания, малая вязкость при низких температурах, высокая температура кипения. Консистентные смазки должны обладать хорошей смазывающей способностью, в том числе и при высокой нагрузке (давлении); быть достаточно подвижными в узле трения; а так же обладать высокой термической, химической и коллоидной стабильностью и быть устойчивыми к окислению кислородом воздуха.

Последнее время широкое распространение для обучения получили: электронные и автоматические учебники, обучающие комплексы и системы.

Данный комплекс состоит из двух частей: теоретической и практической части. В теоретической части рассматриваются вопросы: назначение масел и смазок, виды смазочных материалов и способы их получения, классификация и свойства масел и пластичных смазок, процесс старения масел и их эксплуатация, нормы расхода масел и смазок, контроль качества и восстановление эксплуатационных свойств, методы очистки и регенерация масел.

Практическая часть состоит: из тестовых заданий по каждому разделу теоретической части, из тестовых заданий по подготовке к лабораторным работам и их отчету, а также выходной контроль по изучению разделов всего курса.

Теоретическая часть обучающей системы состоит из следующих разделов:

Раздел 1 «Общие сведения о маслах и пластичных смазках»:

- Назначение масел и пластичных смазок
- Виды смазочных материалов и способы их получения
- Классификация минеральных масел
- Свойства и характеристики нефтяных и синтетических масел и методы их определения
- Старение нефтяных масел в процессе их эксплуатации
- Присадки, улучшающие эксплуатационные свойства масел
- Свойства и характеристики пластичных смазок

Раздел 2 «Смазочные материалы и масляные системы электростанций»:

- Масла и пластичные смазки, применяемые на электростанциях
- Масляные системы электростанций
- Нормы расхода масел и смазок
- Очистка масляных систем турбоагрегатов
- Контроль качества масел и смазок
- Восстановление эксплуатационных свойств масел
- Физические методы очистки и осушки масел
- Регенерация масел физико-химическими и химическими методами.

Таким образом, разработано электронное пособие, включающее теоретический материал по разделу «Энергетические масла и консистентные смазки». Оно поможет освоить студентам материал по данному разделу и самостоятельно проверить качество знаний. Представленное пособие подготовлено в операционной системе Windows XP 2002 с применением Microsoft Office Word. Данный учебник предназначен для студентов технических специальностей.

Библиографический список

1. **Белосельский Б.С.** Технология топлива и энергетических масел: Учебник для вузов. – М.: Издательство МЭИ, 2003. – 340 с.: ил.
2. **Кумсков В.Т., Покалюк А.И.** Топливо и масла электрических станций. М., «Энергия», 1969 г. – 256 с.: с илл.