

УДК 621.187.11

Совершенствование химического контроля водного режима на ТЭС на основе измерений электропроводности и pH

А.Б. Ларин

ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
г. Иваново, Российская Федерация
E-mail: yaandy_81@mail.ru

Авторское резюме

Состояние вопроса: Ужесточение норм, предъявляемых к качеству водного теплоносителя ТЭС, и развитие автоматических систем химического мониторинга за водно-химическим режимом требуют расширения диагностических возможностей систем мониторинга ТЭС. Использование наиболее точных измерений показателей качества теплоносителя, таких как удельная электрическая проводимость и pH, повышает надежность работы котельных установок и позволяет проводить диагностику состояния водного режима на основе применения математических моделей водного теплоносителя. Такое направление принято и в энергетике западных стран и характеризует направление развития химического контроля водного режима на ТЭС.

Материалы и методы: Использованы результаты лабораторных исследований и промышленных испытаний новых методик косвенного определения нормативных показателей качества воды на ТЭС.

Результаты: Предложена методика, основанная на частном решении математических моделей ионных равновесий в условиях качества питательной воды, котловой воды, конденсата пара. Проведены исследования на действующем оборудовании Ивановской ТЭЦ-3 и Костромской ГРЭС. Получены новые данные и обобщены в систему совершенствования химического контроля на ТЭС.

Выводы: Измерительные системы и расчетные алгоритмы проверены в условиях промышленной эксплуатации на ТЭС и частично реализованы в разработках новых приборов и систем автоматического химического контроля. Показаны широкие возможности измерений электропроводности и pH для автоматического контроля и диагностики состояния водного режима основного контура и вспомогательных систем.

Ключевые слова: водно-химический режим ТЭС, удельная электропроводность, математическая модель, нормы качества теплоносителя, автоматический химический контроль.

Improving of water-chemistry mode chemical control at heat power plants based on electrical conductivity and pH measurements

A.B. Larin

Ivanovo State Power Engineering University, Ivanovo, Russian Federation
E-mail: yaandy_81@mail.ru

Abstract

Background: Higher requirements to the quality of heat power plant water coolants and development of automatic systems of chemical control of water-chemistry conditions require widening the diagnostic functions of heat power plant monitoring systems. Using more precise measurements of water coolant quality, such as electrical conductivity and pH, improves the operation safety of boiler plants and enables the diagnostics of water conditions based on water coolant mathematical models. This method is widely used in power engineering in western countries as well and indicates the direction of water coolant control development at heat power plants.

Materials and methods: The results of laboratory and field tests of the new techniques of indirect determination of water quality standards at heat power plants.

Results: The author has developed a technique based on a particular solution of mathematical models of ionic equilibriums of feed water, boiler water, and steam condensate conditions. The tests were conducted on the operating equipment of Ivanovo Heat Power Plant-3 and Kostroma Hydroelectric Station. The obtained data were arranged as a system of chemical control improvement at heat power plants.

Conclusions: The measurement systems and calculation algorithms were tested in commercial operation conditions at heat power plants and partially implemented to developing new devices and systems of automatic chemical control. The study has proved that conductivity and pH measurements have good prospects in automatic control and diagnostics of the water-chemistry mode of the main loop and auxiliary systems.

Key words: water-chemistry mode of heat power plants, electrical conductivity, mathematical model, water coolant quality standards, automatic chemical control.

Введение. Ужесточение требований к качеству водно-химического режима (ВХР) на

ТЭС, включая блоки с парогазовыми установками (ПГУ) и блоки суперсверхкритических па-

раметров (ССКП)¹, заставляет искать пути дальнейшего совершенствования как водного режима, так и методов и средств автоматического химического контроля за ним. Этому же способствуют развитие информационных технологий, с одной стороны, и продолжающаяся оптимизация (сокращение) численности эксплуатационного персонала, с другой. На конференциях и совещаниях Международной ассоциации по свойствам воды и пара (IAPWS) в последние годы постоянно обсуждаются и уточняются требования к химическому контролю водной среды энергоблоков ТЭС и АЭС, принятые как в России, так и за рубежом.

При высокой надежности кондуктометрических измерений новые нормы и анализаторы часто базируются именно на измерениях удельной электропроводности охлажденных проб. Такими являются: нормативный показатель «Общий органический углерод»; анализаторы фирмы SWAN – FAM Deltacon pH и AMI Deltacon Power [1]. Последний появился на рынке приборов автоматического химического контроля совсем недавно и дает косвенные измерения водородного показателя pH и концентрации аммиака в питательной воде энергоблока по измеренным значениям удельной электропроводности прямой и Н-катионированной пробы.

Косвенные измерения ряда нормируемых и диагностических показателей на базе измерений электропроводности и pH обеспечиваются расчетными алгоритмами. Достоверность расчетных алгоритмов в значительной степени определяет точность и надежность косвенных измерений. Так, названный выше анализатор фирмы SWAN дает значительные искажения косвенных значений pH при измерениях в воде, содержащей гидрокарбонаты, а также при фактических значениях pH, равных 7,5 единиц и ниже, что имеет место на энергоблоках с нейтрально-кислородным водным режимом. В [2] показана возможность применения обобщенной математической модели (ММ) ионных равновесий, использующей измерения электропроводности и pH, для косвенных определений концентраций ионов в технологических водах ТЭС. Однако такая ММ имеет теоретический интерес, но малоприменима для практических измерений. Если принять в качестве измеряемых величин удельную электропроводность и pH в разных их сочетаниях, то можно предложить несколько расчетных алгоритмов косвенного определения нормируемых и диагностических показателей, полученных из ММ ионных равновесий и пригодных для опе-

ративного автоматического химического контроля качества ВХР:

1. Измерения удельной электропроводности охлажденных проб: прямой (χ) и Н-катионированной ($\chi_{\text{Н}}$) в сочетании с измерением pH конденсата пара или питательной воды энергетических котлов.

Решение ММ ионных равновесий в граничных условиях питательной воды энергетических котлов в этом случае обеспечивает косвенное определение концентраций аммиака, хлоридов, катионов жесткости и натрия в пересчете на натрий, что подтверждено патентом на изобретение [3] и многочисленными лабораторными и промышленными испытаниями (см. таблицу). Концентрация аммиака рассчитывается в среднем с 10 %-ным отклонением от аналитически измеренных аналогов. С использованием такого алгоритма разработана конструкция промышленного анализатора минеральных примесей конденсата АПК-051 (совместно с НПП «Техноприбор» (г. Москва) [3, 4]).

В условиях промышленной эксплуатации ТЭС названный объем автоматических измерений в питательной воде (χ , $\chi_{\text{Н}}$, pH) реализуется в штатном режиме на прямоточных котлах и котлах-утилизаторах ПГУ. На питательной воде барабанных котлов ($p = 13,8$ МПа) требуется дополнительная установка кондуктометра прямой пробы.

Технология реализована на барабанном котле (ст. №3) Ивановской ТЭЦ-3.

2. Измерение удельной электропроводности Н-катионированной пробы ($\chi_{\text{Н,к.в.}}$) и pH ($pH_{\text{к.в.}}$) котловой воды в сочетании с измерениями χ , $\chi_{\text{Н}}$, pH питательной воды (по п.1).

Решение ММ ионных равновесий в граничных условиях котловой воды барабанных котлов СВД ($p = 13,8$ МПа) позволяет предложить практический алгоритм, обеспечивающий косвенное определение концентрации фосфатов и солесодержания котловой воды (рис. 1).

Алгоритм реализован в системе химикотехнологического мониторинга питательной и котловой вод Ивановской ТЭЦ-3 (котел ТП-87, ст. №3) и подтвержден патентом на изобретение [5]. Разработаны методики автоматического определения времени срабатывания Н-колонки и автоматического управления дозировкой фосфатов в котловую воду.

¹ Водоподготовительные установки и водно-химический режим ТЭС. Условия создания. Нормы и требования. СТО 70238424.27.100.013-2009. НП «ИНВЭЛ». – М., 2009.

Расчет концентраций ионных примесей питательной воды и пара энергетических котлов СВД и СКД

ТЭС, котел, дата	Измеренные параметры				Расчетные параметры		
	$\chi_{\text{н}}^{25}$, мкСм/см	$\chi_{\text{н}}^{25}$, мкСм/см	pH	NH ₃ , мкг/дм ³	[Cl ⁻], мкг/дм ³	[Na ⁺] _{усл}	[NH ₃], мкг/дм ³
ИвТЭЦ-3 (17.03.10)	3,87	0,31	9,18	-	20,5	11,86	427,3
	3,91	0,17	8,99	-	14,51	6,37	431,8
Северо-Западная ТЭЦ С.-Петербурга П-90 (01.08.13)	8,01	0,18	9,47	-	10,3	6,77	1260,5
	8,04	0,19	9,47	1400	10,9	7,15	1270
Гусино-Озерская ГРЭС Бл-2 22.08.13	4,05	0,4	9,1	486	22,9	15,49	450
	3,22	0,45	9,1	-	25,8	17,54	326
Саранская ТЭЦ-2 Бл-2 (12.11.02)	5,42	0,9	9,2	700	51,5	37,18	698,04
	3,97	0,9	8,9	500	51,5	37,17	446
ТЭЦ-26 «МЭ» Бл-1, ТГМЕ-96Б (14.11.05)	6,64	0,92	9,42	-	52,7	38,10	950,11
	4,44	0,72	9,13	-	41,2	29,07	517,76
Конаковская ГРЭС Бл-6 (27.03.07)	0,195	0,183	7,64	-	10,5	6,39	12,07
	0,196	0,187	7,62	-	10,7	6,54	12,13
Пермская ГРЭС Бл-1, 2 (28.10.09)	0,28	0,08	7,99	-	4,6	2,72	17,91
	0,27	0,09	7,99	-	5,2	3,09	17,21

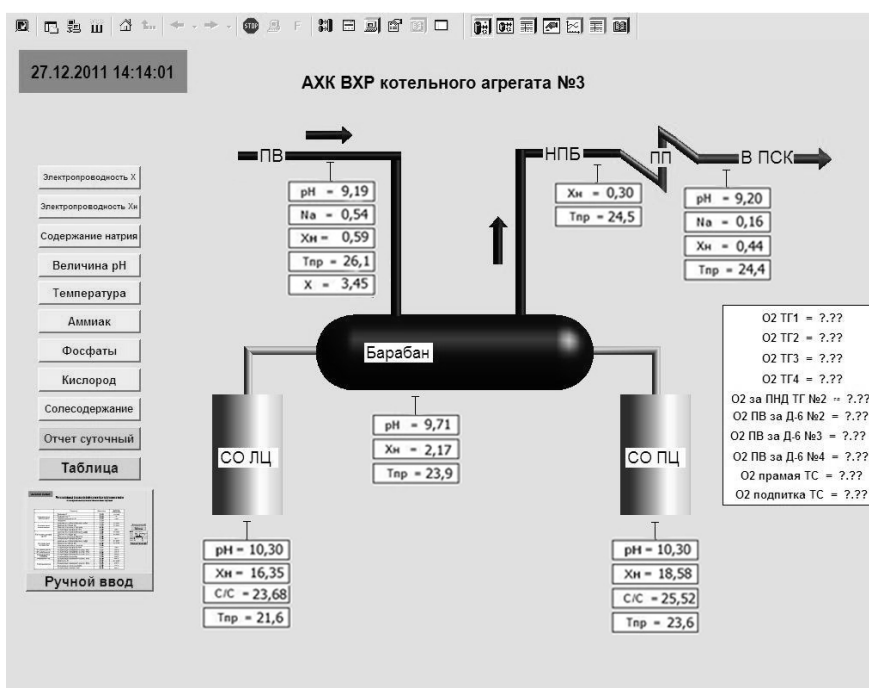


Рис. 1. Мнемосхема системы химико-технологического мониторинга за водно-химическим режимом котельного агрегата № 3 Ивановской ТЭЦ-3: ПВ – питательная вода; НПБ – насыщенный пар барабана котла; ПП – пароперегреватель; ПСК – паросборная камера; СО ЛЦ – солевой отсек левый циклон; СО ПЦ – солевой отсек правый циклон; Барабан – чистый отсек барабана котла

В последнем случае технический результат достигается тем, что в способе корректировки дозирования раствора фосфатов в котловую воду барабанных котлов, включающем дозирование раствора фосфатов в котловую воду насосом-дозатором по величине проводки, дополнительно измеряют удельную электропроводность Н-катионированной пробы питательной воды и удельную электропроводность Н-катионированной пробы котловой воды барабанного энергетического котла, рассчитывают концентрацию фосфатов в котловой воде.

Измерения удельной электропроводности и pH котловой воды являются штатными приборными измерениями на ТЭС.

3. Измерение удельной электропроводности Н-катионированных проб питательной воды и пара прямоточных энергетических котлов.

Решение ММ ионных равновесий для условий работы прямоточных котлов позволяет предложить простой метод расчетного определения потенциально-кислых примесей питательной воды в расчете на уксусную кислоту. Расчетное уравнение имеет вид

$$C_{\text{ук}} = 153,6 \cdot (\chi_{\text{н,ов}} - \chi_{\text{н,пв}}),$$

где $C_{\text{ук}}$ – концентрация уксусной кислоты, мкг/л; $\chi_{\text{н,оп}}$, $\chi_{\text{н,пв}}$ – удельная электропроводность охлажденных проб острого пара и питательной воды, мкСм/см.

Метод реализуется в рамках штатного автоматического химического контроля водного режима проточных котлов и может служить оперативным аналогом метода определения общего органического углерода, в том числе, для котлов ССКП [1].

4. Измерение удельной электропроводности и pH в технологических системах обеспечения водного режима энергоблоков ТЭС.

К числу таких систем относится, прежде всего, водоподготовительная и деаэрационная установки, обеспечивающие нормативное качество добавочной воды (СТО 70238424.27.100.013-2009), а также блочные обессоливающие установки и системы водяного охлаждения статоров электрогенераторов энергоблоков.

Глубокая деминерализация и декарбонизация добавочной воды является одной из наиболее важных задач обработки воды на ТЭС. Невысокая оперативность лабораторного химического анализа может быть причиной преждевременного срабатывания ионитных фильтров и нарушения норм качества питательной воды. Ниже предложен метод расчетного определения концентраций проскока сорбируемых ионов на Н-катионитных и ОН-анионитных фильтрах и эффективности декарбонизации воды в схеме химического обессоливания по измерениям удельной электропроводности и pH. Метод опробован на блоке фильтров (БФ-1) водоподготовительной установки Костромской ГРЭС (КГРЭС). Объем автоматического химического контроля представлен на рис. 2.

Предложенная методика основана на частном решении ММ ионных равновесий в условиях качества частично- и глубокообессоленной воды и позволяет контролировать работу как ионитных фильтров, так и декарбонизатора обессоливающей установки.

Удаление остаточной углекислоты (свободной и частично связанной) из добавочной воды производится, как правило, в атмосфер-

ных деаэраторах. Работа таких установок в качестве декарбонизаторов может оцениваться измерением показателя pH поступающей воды и выходящей воды из деаэрационной установки. Расчетный алгоритм обеспечивает возможность косвенного определения эффективности удаления свободной и связанной углекислоты (ΔCO_2) по величине изменения показателя pH (ΔpH), равного разности значений pH деаэрированной и поступающей в установку воды (рис. 3).

Еще одним объектом реализации косвенного метода автоматического контроля качества водного режима вспомогательных систем может быть система оборотного охлаждения статора электрогенератора. Нормативное значение pH может быть обеспечено автоматическим контролем удельной электропроводности охлаждающей воды, что проверено в условиях работы энергоблока Конаковской ГРЭС [6].

Таким образом, использование измерений электропроводности и pH охлажденных проб водного теплоносителя на ТЭС позволяет решить ряд важных задач оперативного химического контроля водного режима, как основного контура, так и вспомогательных систем энергоблока ТЭС. Представленные методы базируются на штатных измерительных системах химического контроля и не требуют сколько-нибудь существенных изменений и дополнений в системы автоматического химического контроля. Основу предложенных расчетных алгоритмов составляет сочетание частных решений ММ ионных равновесий и измерений удельной электропроводности прямой и Н-катионированной проб водного теплоносителя. Предложенные методы проверены в условиях промышленной эксплуатации на ТЭС и частично реализованы в разработках новых приборов и систем автоматического химического контроля.

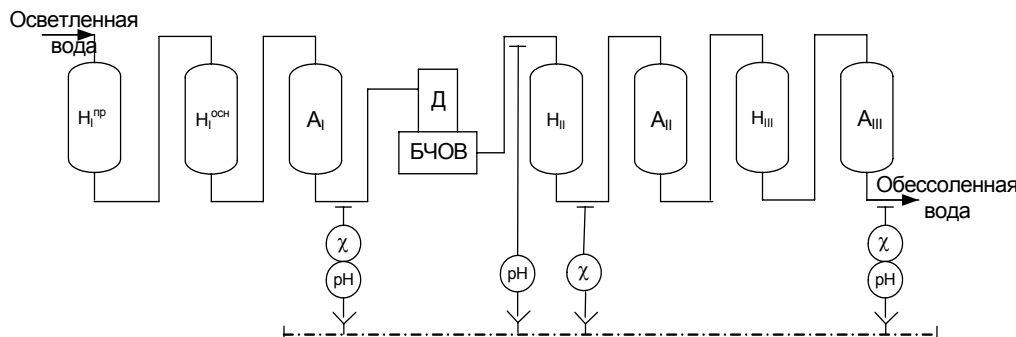


Рис. 2. Принципиальная схема блока фильтров химического обессоливания воды в три ступени (с системой автоматического химического контроля); — датчик кондуктометра; pH — датчик pH-метра

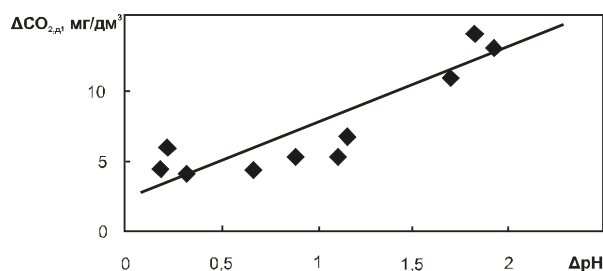


Рис. 3. Расчетная зависимость эффекта декарбонизации от изменения pH деаэрируемой воды в атмосферных деаэраторах типа ДСА-300

Список литературы

1. **Ларин Б.М., Ларин А.Б.** Обеспечение водно-химического режима котлов суперсверхкритических параметров // Энергосбережение и водоподготовка. – М.: ООО «ЭНИВ», 2013. – № 8. – С. 19–23.
2. **Бушуев Е.Н.** Математическое моделирование ионных равновесий водного теплоносителя с использованием измерений электропроводности и pH // Теплоэнергетика. – 2009. – № 7. – С. 13–18.
3. **Патент № 2348031** Российская Федерация. Анализатор примесей конденсата и способ их определения / Б.М. Ларин, Е.Н. Бушуев, Е.В. Козюлина, А.Б. Ларин, С.В. Кьет. Опубл. 27.02.2009. Бюл. № 9.
4. **Кьет С.В., Воронов В.Н., Бушуев Е.Н.** Использование анализатора АПК-051 в системе химико-технологического мониторинга // Теплоэнергетика. – 2009. – № 7. – С. 75–78.
5. **Патент № 389014** Российская Федерация. Способ определения концентрации фосфатов в котловой воде барабанных энергетических котлов / Б.М. Ларин, Е.Н. Бушуев, А.Б. Ларин, Н.А. Еремина. Зарегистр. 10.05.2010.

6. **Водный режим системы охлаждения статора электрогенератора энергоблока ТЭС / Б.М. Ларин, А.Б. Ларин, А.Н. Коротков, М.Ю. Опарин** // Теплоэнергетика. – 2011. – № 7. – С. 17–20.

References

1. Larin, B.M., Larin, A.B. Obespechenie vodno-khimicheskogo rezhima kotlov supersverkhkriticheskikh parametrov [Water-chemistry conditions support in boilers with ultra-supercritical parameters]. *Energoberezhenie i vodorpodgotovka*, 2013, no. 8, pp. 19–23.
2. Bushuev, E.N. Matematicheskoe modelirovanie ionnykh ravnovesiy vodnogo teponositelya s ispol'zovaniem izmereniy elektroprovodnosti i pH [Mathematical modeling of ionic equilibriums of water coolants based on electrical conductivity and pH measurements]. *Teploenergetika*, 2009, no. 7, pp. 13–18.
3. Larin, B.M., Bushuev, E.N., Kozyulina, E.V., Larin, A.B., Kiet, S.V. *Analizator primesey kondensata i sposob ikh opredeleniya* [An analyzer of condensate impurities and a method of their determination]. Patent RF, no. 2348031, 2009.
4. Kiet, S.V., Voronov, V.N., Bushuev, E.N. Ispol'zovanie analizatora APK-051 v sisteme khimiko-tekhnologicheskogo monitoringa [Using the APK-051 analyzer in the system of chemical-engineering monitoring]. *Teploenergetika*, 2009, no. 7, pp. 75–78.
5. Larin, B.M., Bushuev, E.N., Larin, A.B., Eremina, N.A. *Sposob opredeleniya kontsentratsii fosfatov v kotlovoy vode barabannykh energeticheskikh kotlov* [A method of determining phosphate concentration in boiler water of drum-type power-generating boilers]. Patent RF, no. 389014, 2010.
6. Larin, B.M., Larin, A.B., Korotkov, A.N., Oparin, M.Yu. Vodnyy rezhim sistemy okhlazhdeniya statora elektrogeneratora energobloka TES [Water-chemistry mode of the generator stator cooling system in a heat power plant unit]. *Teploenergetika*, 2011, no. 7, pp. 17–20.

Ларин Андрей Борисович,

ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
кандидат технических наук, доцент кафедры химии и химических технологий в энергетике,
e-mail: yaandy_81@mail.ru