

УДК 621.187.11

Мониторинг водно-химического режима энергоблока ТЭС с ПГУ

А.Б. Ларин, А.В. Колегов
ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
г. Иваново, Российская Федерация
E-mail: admin@xte.ispu.ru

Авторское резюме

Состояние вопроса: Для комплексного решения проблемы контроля состояния и ведения водно-химического режима в последнее десятилетие широко используются системы химико-технологического мониторинга, основу которых составляют приборы автоматического химического контроля. Контроль состояния, диагностика нарушений и ведение водно-химического режима являются одной из наиболее сложных задач, решение которой следует искать в направлении повышения информативности приборов и систем автоматического химического контроля на базе простых и надежных измерений, а также разработки новых расчетных методик, адаптированных к условиям промышленной эксплуатации.

Материалы и методы: Использована разработка частной математической модели ионных равновесий водного теплоносителя котлов-утилизаторов энергоблоков с ПГУ.

Результаты: Представлены результаты обследования водно-химического режима и химического контроля ГТЭС «Терешково» с использованием разработанных методик и алгоритмов косвенного определения концентраций ионных примесей. Приведено сравнение результатов расчета показателей качества питательной воды Ивановской ТЭЦ-3 и ГТЭС «Терешково». Разработана методика косвенного определения концентраций контролируемых и диагностических показателей качества питательной и котловой вод энергоблока ПГУ при использовании гидразинно-аммиачного водно-химического режима. Проведено обследование состояния химического контроля и водно-химического режима энергоблока ГТЭС «Терешково». Выявлены отклонения в точности автоматических измерений химического контроля и возможные отклонения в состоянии водно-химического режима. Рекомендован ряд мер по нормализации состояния водно-химического режима и химического контроля на основании использования разработанной расчетной методики.

Выводы: Теоретическими расчетами и промышленными испытаниями на ПГУ ГТЭС «Терешково» показана возможность использования частных математических моделей ионных равновесий водного теплоносителя для характеристики солевых примесей питательной и котловой вод котлов-утилизаторов.

Ключевые слова: тепловые электрические станции, водно-химический режим, автоматический химический контроль, парогазовые установки, электропроводность.

Monitoring Water and Chemical Mode of Boiler-Turbine Generator with Combined-cycle Plant

A.B. Larin, A. V. Kolegov
Ivanovo State Power Engineering University, Ivanovo, Russian Federation
E-mail: admin@xte.ispu.ru

Abstract

Background: To solve the problem of controlling the state and operation of water and chemical mode the chemical and technological monitoring systems have been widely used for the last 10 years. These systems are based on the equipment of automatic chemical control. The state control, disfunctions diagnostics and water and chemical mode operation are one of the more complicated tasks. To solve this problem it is necessary to increase the information capability of devices and systems of automatic chemical control based on simple and reliable changes as well as the development of calculations methods adapted to the industrial operation conditions.

Materials and methods: The development of the particular mathematical model of ionic equilibrium of water heat-transfer agent of boiler –turbine generator with combined-cycle plant.

Results: The inspection results of water and chemical mode and chemical control of “Tereshkovo” Water Heat Power Station with the usage of the developed methods and algorithms of indirect determination of ionic impurities concentration. The authors compare the calculation results of quality indices of feed water at Ivanovo Heat Power Station – 3 and of “Tereshkovo” Water Heat Power Station. The methodology of indirect determination of controlled and diagnostic concentration of quality indices of feed and boiler waters at the power unit with combined-cycle plant by means of usage of hydrazine and ammoniac water and chemical mode. The authors research the chemical control and water and chemical mode states of the power unit of “Tereshkovo” Water Heat Power Station. The deflection of automatical measurement accuracy of chemical control and possible state deflection in water and chemical mode are revealed. The authors suggest the recommendations to normalize the water and chemical mode state and chemical control on the basis of the usage of developed calculation methodology.

Conclusions: The application possibility of particular mathematical model of ionic equilibrium of water heat-transfer agent for salt impurities characteristics of feed and boiler waters at the boilers – utilizes.

Key words: heat power stations, water and chemical mode, automatic chemical control, combined-cycle plants, electroconductivity.

Наиболее надежными приборами автоматического химического контроля (АХК) в промышленной эксплуатации являются кондуктометры и рН-метры, потенциал которых используется, но не в полном объеме. Примером является отсутствие практики измерений удельной электропроводности Н-катионированной пробы котловой воды барабанных котлов на действующих тепловых электрических станциях.

Методы математического моделирования на основе измерений величины рН, удельной электропроводности прямой и Н-катионированной пробы позволяют расширить спектр функциональных возможностей системы химико-технологического мониторинга (СХТМ), раскрыть приборный потенциал и, следовательно, достаточно эффективно выявлять недостатки и быстротекущие нарушения водно-химического режима (ВХР).

Отмечено, что указанное выше подтверждается в решениях Симпозиума международной ассоциации по свойствам воды и пара – IAWPS (Чехия, Пльзень, сентябрь 2011 г.), где основным направлением развития признан ав-

томатический химический контроль качества водного теплоносителя с разработкой дополнительных функций. Такое направление более 20 лет разрабатывается на кафедре ХХТЭ ИГЭУ под руководством д-ра техн. наук, профессора Б.М. Ларина [1, 2]. Эти работы являются развитием разработок ОАО «ВТИ» по созданию систем АХК 70-х годов (Л.М. Живилова) и более поздних работ МЭИ (В.Н. Воронов и др.) [3, 4].

Объем химического и теплотехнического контроля для СХТМ в пусковых режимах определяется для каждого конкретного объекта с учетом особенностей тепловой схемы, режимных параметров, способа подготовки добавочной воды и динамики технологического объекта. Для исследований на Ивановской ТЭЦ-3 была разработана структурная схема автоматического химического контроля за ВХР (рис. 1). Примененные технические средства позволяют обеспечить возможность контроля рабочего состояния барабанного котла и в дальнейшем могут использоваться для автоматизации управления рабочими процессами.

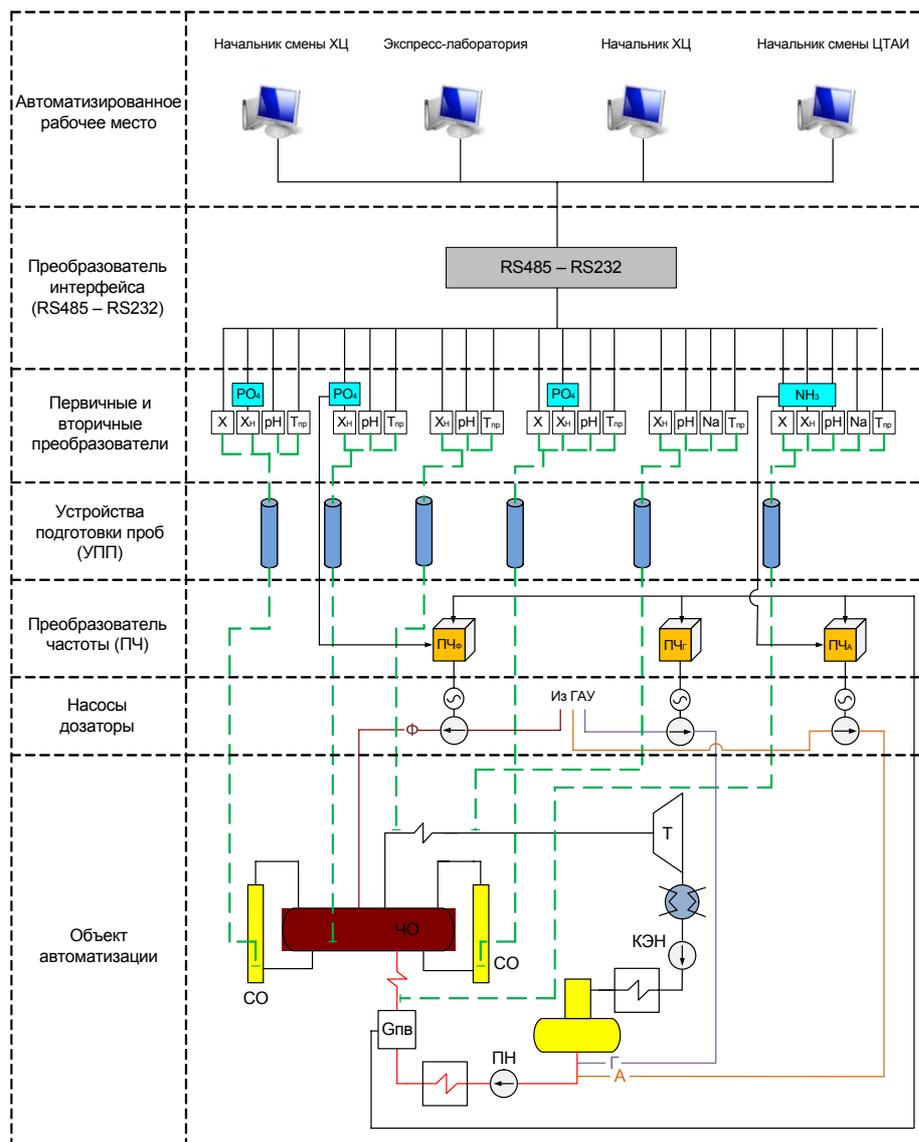


Рис. 1. Структурная схема автоматического химического контроля ВХР и управления дозированием корректирующих реагентов

Другим объектом исследований являлся водно-химический режим котлов-утилизаторов энергоблоков с ПГУ. В соответствии с требованиями к качеству питательной и добавочной воды, качество питательной воды котлов-утилизаторов ПГУ отвечает качеству питательной воды барабанных энергетических котлов с давлением 13,8 МПа [5]. При использовании гидразин-аммиачного водно-химического режима контроль качества ионных примесей питательной воды может строиться на основе измерений χ , χ_n , рН, как для питательной воды котлов с давлением 13,8 МПа [2].

Расчет концентраций ионных примесей котловой воды контуров низкого (КНД) и высокого (КВД) давления энергоблока ПГУ может строиться на базе математической модели ионных равновесий котловой воды барабанных котлов с давлением 13,8 МПа. В данном случае, для энергоблока ГТЭС «Терешково» (г. Москва), математическая модель была видоизменена с учетом неполноты выноса аммиака в пар и отсутствия фосфатов, однако с добавлением в котловую воду NaOH.

В условиях измерения в питательной воде значений χ , χ_n , рН можно считать известными концентрации $[\text{NH}_3]_{\text{пв}}$, $[\text{Cl}]_{\text{пв}}$, $[\text{HCO}_3]_{\text{пв}}$ в питательной воде. Тогда итоговая система уравнений ионных равновесий котловой воды котла-утилизатора блока ПГУ может быть записана в следующем виде:

$$1000 \cdot \chi_n = (\lambda_{\text{H}^+} + \lambda_{\text{Cl}^-}) [\text{Cl}^-]; \quad (1)$$

$$K_k = [\text{Cl}^-] / [\text{Cl}^-]_{\text{пв}}; \quad (2)$$

$$(1 + K_a) [\text{CO}_3^{2-}] = K_k \cdot 0,5(1 + q) [\text{HCO}_3^-]_{\text{пв}}; \quad (3)$$

$$[\text{NH}_4^+] + [\text{Na}^+] = 10^{\text{pH}-14} + [\text{Cl}^-] + (2 + K_a) [\text{CO}_3^{2-}]; \quad (4)$$

$$1000 \cdot \chi = \lambda_{\text{NH}_4^+} [\text{NH}_4^+] + \lambda_{\text{Na}^+} [\text{Na}^+] + \lambda_{\text{OH}^-} \cdot 10^{\text{pH}-14} + \lambda_{\text{Cl}^-} [\text{Cl}^-] + (2 \cdot \lambda_{\text{CO}_3^{2-}} + \lambda_{\text{HCO}_3^-} K_a) [\text{CO}_3^{2-}], \quad (5)$$

где $K_a = \frac{10^{-\text{pH}}}{K_{\text{II H}_2\text{CO}_3}}$; q – доля гидрокарбонатов пи-

тательной воды, не подверженная термолизу в котловой воде ($2\text{HCO}_3^- \leftrightarrow \text{CO}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_3^{2-}$); $0,5(1 + q)$ – доля гидрокарбонатов, ушедших в пар в виде CO_2 и то же, перешедших в форму CO_3^{2-} ; $[\text{OH}^-] = 10^{\text{pH}-14}$ – концентрация гидроксильных ионов по измерению рН котловой воды.

Дополнительными можно считать уравнение соотношения карбонатов и гидрокарбонатов в котловой воде

$$[\text{CO}_3^{2-}] = 0,48 \cdot 10^{\text{pH}-10} [\text{HCO}_3^-] \quad (6)$$

и уравнение соотношения концентраций аммонийных ионов в котловой воде (моль/л) и сум-

марной концентрации аммиака ($[\text{NH}_3]_{\text{пв}}$) в питательной воде, мкг/л,

$$[\text{NH}_4^+] = \frac{1,035 \cdot 10^{-7} \rho [\text{NH}_3]_{\text{пв}}}{(1,76 + 10^{\text{pH}-9})}, \quad (7)$$

где $\rho = 0,0-0,2$ – доля концентрации аммиака питательной воды, оставшаяся в котловой воде.

Порядок решения системы уравнений (1)–(7) при измерении показателей качества котловой и питательной вод отображает блок-схема рис. 2.

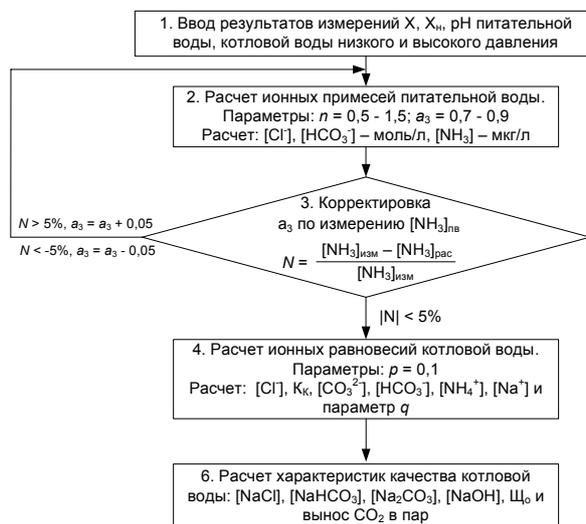


Рис. 2. Блок-схема алгоритма расчета концентраций ионных примесей питательной и котловой вод контуров низкого и высокого давления энергоблоков ПГУ

В связи с периодическим превышением рекомендуемых норм по отдельным показателям в октябре – декабре 2012 года сотрудниками кафедры ХХТЭ ИГЭУ проведено обследование энергоблока ПГУ ГТЭС «Терешково» (г. Москва). Анализ состояния химического контроля и водно-химического режима энергоблока ГТЭС «Терешково» с использованием расчетных методик выявил ряд нарушений.

На рис. 3, 4 приведены результаты расчетов по программе ИГЭУ ионных равновесий и концентраций примесей в питательной воде энергоблока ПГУ-220 ГТЭС «Терешково» в сравнении с результатами расчета показателей качества водного теплоносителя Ивановской ТЭЦ-3.

Анализ среднемесячных данных показывает, что значение удельной электропроводности (χ) прямой пробы питательной воды Ивановской ТЭЦ-3 немного выше значений χ по данным для ГТЭС «Терешково» (3,83 и 3,42 мкСм/см), аналогичная картина наблюдается и по значению удельной электропроводности Н-катионированной пробы (0,33 и 0,3 мкСм/см).

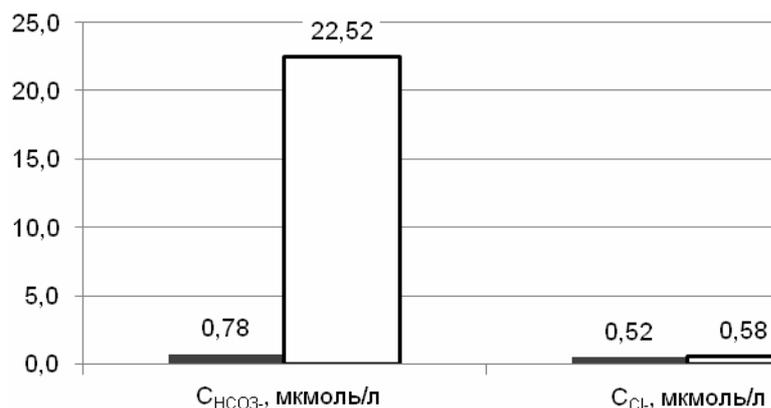


Рис. 3. Сравнительная диаграмма среднемесячных значений концентраций хлоридов и гидрокарбонатов в питательной воде: ■ – расчетные данные по Ивановской ТЭЦ-3; □ – расчетные данные по ГТЭС «Терешково»

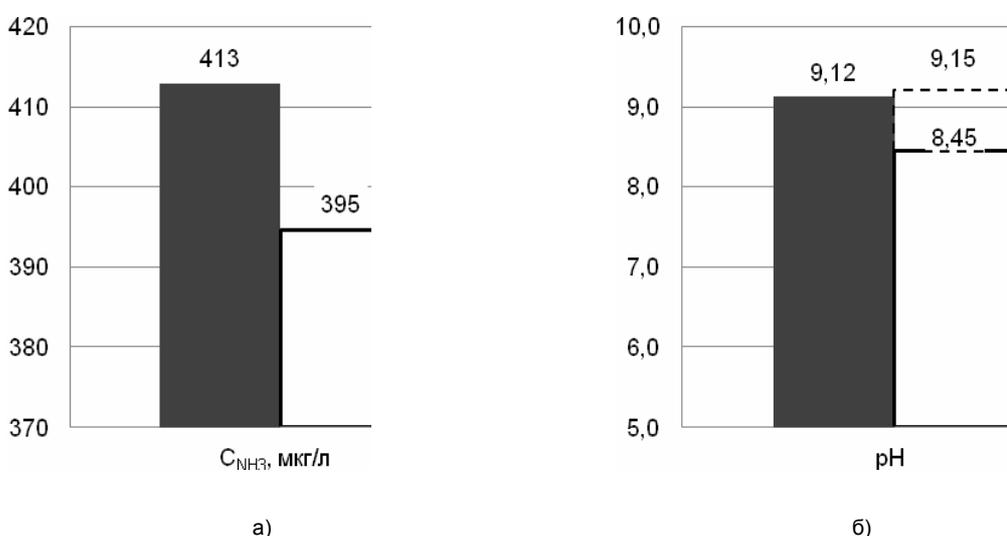


Рис. 4. Сравнительная диаграмма среднемесячных расчетных значений концентраций аммиака (а) и измеренной величины pH (б) питательной воды: ■ – данные по Ивановской ТЭЦ-3; □ – данные по ГТЭС «Терешково»; - - - - - данные химической лаборатории ГТЭС «Терешково»

Однако при одинаково малой концентрации хлоридов (около 0,58 и 0,52 мкмоль/л) концентрация гидрокарбонатов, представляющих форму углекислоты, имеет весьма существенные различия: около 22 мкг-экв/л для ГТЭС «Терешково» и малые значения концентрации гидрокарбонатов в питательной воде Ивановской ТЭЦ-3 (0,78 мкг-экв/л) (рис. 3). Такая большая концентрация, как в питательной воде блока ПГУ ГТЭС «Терешково», недопустима даже для связанной аммиаком углекислоты, что приводит к выходу за норму значений χ_n пара.

Сравнение результатов измерений pH питательной воды энергоблока ГТЭС «Терешково», выполненных pH-метрами с проточной потенциометрической ячейкой и Deltoson pH, показывает завышение значений pH по измерениям Deltoson pH (рис. 4). Данный факт связан с присутствием угольной кислоты в концентрациях, существенно больших (более чем в 10 раз) по сравнению с концентрацией NaCl в анализируемой пробе, что выводит анализатор Deltoson pH за допустимые пределы использо-

вания, а в питательном тракте может вызывать развитие коррозионных процессов.

Проведенное на основе разработанных методик, алгоритмов и промышленных испытаний обследование состояния химического контроля и ВХР энергоблока ПГУ ГТЭС «Терешково» позволило выявить отклонения в достоверности автоматических измерений ХК, в частности, измерений величины pH анализатором «FAM Deltoson pH», и нарушения ведения ВХР. Были выданы рекомендации и предложения по нормализации состояния ВХР и ХК.

Работа выполнена при финансовой поддержке государственного задания высшим учебным заведениям на проведение научно-исследовательских работ Министерства образования и науки Российской Федерации.

Список литературы

1. **Реализация** мониторинга водно-химического режима барабанных котлов / Б.М. Ларин, Е.Н. Бушуев, Е.В. Козюлина, Ю.Ю. Тихомирова // Теплоэнергетика. – 2005. – № 10. – С. 11–17.
2. **Расчет** показателей качества водного теплоносителя и оценка состояния ВХР барабанных котлов /

Б.М. Ларин, А.Б. Ларин, Е.В. Козюлина, А.В. Колегов // Теплоэнергетика. – 2012. – № 7. – С. 10–14.

3. **Живилова Л.М.** Школа передового опыта по автоматизации контроля и управления водно-химическим режимом и водоприготовлением ТЭС // Энергетик. – 1992. – № 11. – С. 28–29.

4. **Воронов В.Н., Назаренко П.Н, Паули В.К.** Некоторые принципы внедрения систем химико-технологического мониторинга на ТЭС // Теплоэнергетика. – 1997. – № 6. – С. 2–7.

5. **Петрова Т.И., Петров А.Ю.** Водно-химические режимы тепловых электростанций с парогазовыми установками // Новое в российской электроэнергетике (электронный журнал). – 2007. – №4. – С. 44–56.

References

1. Larin, B.M., Bushuev, E.N., Kozyulina, E.V., Tikhomirova, Yu.Yu. Realizatsiya monitoringa vodno-khimicheskogo rezhima barabannykh kotlov [Monitoring Implementation of Water and Chemical Mode of Bent-tube Boilers]. *Teploenergetika*, 2005, no. 10, pp. 11–17.

2. Larin, B.M., Larin, A.B., Kozyulina, E.V., Kolegov, A.V. Raschet pokazateley kachestva vodnogo teplonositelya i otsenka sostoyaniya VKhR barabannykh kotlov [Calculation of Quality Indices of Water Heat Transfer Agent and State Estimation of water and Chemical Mode of Bent-tube Boilers]. *Teploenergetika*, 2012, no. 7, pp. 10–14.

3. Zhivilova, L.M. Shkola peredovogo opyta po avtomatizatsii kontrolya i upravleniya vodno-khimicheskim rezhimom i vodoprigotovleniem TES [Best Practises School of Control Automation and Water and Chemical Mode and Water Preparation Control at Heat Power Station]. *Energetik*, 1992, no. 11, pp. 28–29.

4. Voronov, V.N., Nazarenko, P.N, Pauli, V.K. Nekotorye printsipy vnedreniya sistem khimiko-tekhnologicheskogo monitoringa na TES [Some Principals of Systems Implementation of Chemical and Technological Monitoring at Heat Power Station]. *Teploenergetika*, 1997, no. 6, pp. 2–7.

5. Petrova, T.I., Petrov, A.Yu. Vodno-khimicheskie rezhimy teplovykh elektrostantsiy s parogazovymi ustanovkami [Water and Chemical Modes of Heat Power Stations with Combined-cycle Plant]. *Novoe v rossiyskoy elektroenergetike*, 2007, no. 4, pp. 44–56.

Ларин Андрей Борисович,
ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
кандидат технических наук, доцент кафедры химии и химических технологий в энергетике,
телефон (4932) 38-57-83,
e-mail: admin@xxte.ispu.ru

Колегов Антон Валерьевич,
ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
аспирант кафедры химии и химических технологий в энергетике,
телефон (4932) 38-57-83,
e-mail: admin@xxte.ispu.ru