

УДК 621.321

## Совершенствование водно-химического режима ТЭЦ среднего давления

В.Н. Виноградов<sup>1</sup>, И.А. Шатова<sup>2</sup>, Г.В. Ледуховский<sup>1</sup>, Ю.Е. Барочкин<sup>3</sup>, Ю.Н. Дорошко<sup>4</sup>, В.Н. Зайцев<sup>5</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,  
Иваново, Российская Федерация

<sup>2</sup>Муниципальное предприятие «Ивгортеплоэнерго», Иваново, Российская Федерация

<sup>3</sup>ЗАО «Ивэнергосервис», Иваново, Российская Федерация

<sup>4</sup>ЗАО «Родниковская энергетическая компания», Родники, Ивановская область, Российская Федерация

<sup>5</sup>ООО «Взор», Нижний Новгород, Российская Федерация

E-mail: V.N.Vinogradov@mail.ru

### Авторское резюме

**Состояние вопроса:** Системы ведения водно-химического режима паровых котлов большинства ТЭЦ среднего давления не позволяют получить пар, имеющий  $pH_{25}$  не менее 7,5, и исключить стояночную и эксплуатационную коррозию трубопроводов возвратного конденсата. Системы химико-технологического мониторинга этих ТЭЦ не обладают эффективными диагностическими возможностями. Существует возможность уменьшить средствами водоподготовки (ионитные фильтры, деаэратеры) коррозионную агрессивность возвратного конденсата.

**Материалы и методы:** Используются результаты лабораторных исследований катионитов Purolite C104 и C 100, а также данные промышленного эксперимента.

**Результаты:** Исследовано влияние качества исходной воды и условий регенерации параллельноточных двух-слойных фильтров, загруженных карбоксильным катионитом Purolite C104 и сильнокислотным катионитом Purolite C100, на удельные расходы кислоты и соли и качество фильтрата. Подтверждена необходимость двух-ступенчатой декарбонизации H/Na-катионированной воды или оборудования деаэраторного бака деаэратора ДА-50 погружным барботажным устройством. Определены условия необходимости деаэрации возвратного конденсата у потребителя пара. Показана возможность косвенного оперативного контроля скорости коррозии конденсатопроводов на основе кислородометрии.

**Выводы:** Полученные результаты могут быть использованы для совершенствования водно-химического режима ТЭЦ среднего давления и увеличения диагностических возможностей системы их химико-технологического мониторинга.

**Ключевые слова:** тепловая электростанция, водно-химический режим, водоподготовка, карбоксильный катионит, деаэрация, коррозия, кислородометрия.

## Water-Chemical Regime Improvement of Thermal Power Plants of Medium Pressure

V.N. Vinogradov<sup>1</sup>, I.A. Shatova<sup>2</sup>, G.V. Ledukhovskiy<sup>1</sup>, Y.E. Barochkin<sup>3</sup>, Y.N. Doroshko<sup>4</sup>, V.N. Zaytsev<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Ivanovo State Power Engineering University, Rabfakovskaya str., 34, Ivanovo, Russian Federation

<sup>2</sup>Municipal enterprise «Ivgorteploenergo», Ivanovo, Russian Federation

<sup>3</sup>CJSC «Ivnergoservice», Ivanovo, Russian Federation

<sup>4</sup>CJSC «Rodnikovskaya energy company», Rodniki, Ivanovo Region, Russian Federation

<sup>5</sup>LLC «View», Nizhny Novgorod, Russian Federation

E-mail: V.N.Vinogradov@mail.ru

### Abstract

**Background:** Systems of water-chemical regimes in steam boilers at most thermal power plants with medium pressure cannot get steam with  $pH_{25}$  lower than 7,5 and exclude parking and operational corrosion of return condensate pipelines. Systems of chemical-engineering monitoring of these thermal power plants do not have effective diagnostic capabilities. It is possible to reduce corrosion corrosiveness of return condensate by means of water treatment facilities (ionite filters, deaerators).

**Materials and methods:** The laboratory research results of Purolite C104 and C 100 cationites as well as the data of industrial experiments are used.

**Results:** The quality influence of source water and regeneration conditions of co-flow dual-layer filters, which are full of Purolite C104 cationite and strong acidic Purolite C100 cationite, on the acids and salts and the filtrate quality unit discharges are researched. The authors proved that two-phase decarbonization of H / Na-cationite water or the equipment of DA-50 deaerator tank with submersible barbotage device is necessary. The authors define the necessity conditions for deaeration of return condensate of steam consumers. The possibility of indirect operational control of the corrosion rate of condensate pipeline on the basis of oxygen meters is shown.

**Conclusions:** The obtained results can be used to improve water-chemical regimes of thermal power plants with medium pressure and to increase the diagnostic capabilities of the system of chemical-engineering monitoring.

**Key words:** thermal power plant, water-chemical regime, water treatment, carboxyl cationite, deaeration, corrosion, oxygen meter.

ТЭЦ среднего давления, построенные в 30–50-е годы XX века, эксплуатируются и в настоящее время. Реконструкция этих ТЭЦ, как правило, не производится. Выполняется их расширение путем строительства парогазовых установок (ПГУ) с использованием имеющихся водоподготовительных установок (ВПУ) в качестве систем предварительной очистки воды для установок получения глубоко обессоленной добавочной воды ПГУ (например, Вологодская ТЭЦ).

Строятся новые мини-ТЭЦ среднего давления с ПГУ на базе отечественных газовых и паровых турбин и котлов-утилизаторов (например, Ивановская ТЭЦ-1 мощностью 12 МВт, Родниковская мини-ТЭЦ мощностью первой очереди 17 МВт). При этом на парогазовых ТЭЦ с оборудованием российского производства (ПГ ТЭЦ) устанавливаются ВПУ, обеспечивающие получение глубоко умягченной воды того же качества, как и на ТЭЦ среднего давления без ПГУ.

В качестве систем ведения водно-химического режима (ВХР) пароводяного тракта ТЭЦ среднего давления используются:

- ВПУ для получения глубоко умягченной и обезжелезненной добавочной воды (на ряде ВПУ не достигается необходимая степень обезжелезивания этой воды, что отрицательно сказывается на качестве питательной и котловой вод);

- установки деаэрации питательной воды и системы выпаров (использованы деаэраторы старых конструкций, имеющие ограничения по предельным режимам);

- системы коррекционной обработки питательной воды, например ее амминирования (системы коррекционной обработки пара или возвращаемого конденсата зачастую отсутствуют либо не целесообразны и малоэффективны);

- установки фосфатирования котловых вод (не имеют систем автоматического регулирования);

- системы продувки котлов (могут быть гидравлически перегружены из-за невозврата конденсата с производства);

- установки очистки возвратных конденсатов (либо малоэффективны при обезжелезивании кислых конденсатов, либо отсутствуют);

- системы эксплуатационных очисток и консерваций теплоэнергетического оборудования (используются, как правило, временные схемы; технология консервации трубопроводов подачи пара на производство и трубопроводов возврата конденсата не проработана, несмотря на периодический характер работы систем пароснабжения в существующих экономических условиях);

- средства диагностики нарушений ВХР, системы технологического, в частности химического, контроля (неинформативны, требуют

доработки в целях увеличения их диагностических возможностей и совершенствования ВХР на этой основе).

Таким образом, анализ существующих систем ведения ВХР пароводяного тракта ТЭЦ среднего давления показал необходимость надежных систем обработки воды, предотвращающих нарушения ВХР или их негативные последствия.

Ведущая роль в России в развитии технологии и диагностических методов для ВПУ и систем ведения ВХР ТЭС принадлежит ВТИ (П.А. Акользин, Ю.М. Кострикин, Л.М. Живилова, В.А. Коровин и др.) и МЭИ (О.И. Мартынова, Т.Х. Маргулова, Н.П. Субботина). На базе этих методов разработаны системы автоматизированного контроля водоподготовительных установок, химико-технологического мониторинга ВХР, вводятся в работу автоматизированные ВПУ и системы автоматизированного ведения ВХР (В.Н. Воронов, Т.И. Петрова, П.Н. Назаренко, Д.С. Сметанин). Существенный вклад в развитие методов косвенного контроля, основанных на положениях теории растворов электролитов, внес д-р техн. наук, проф. Б.М. Ларин с сотрудниками кафедры химии и химических технологий в энергетике ИГЭУ.

Сотрудники ВТИ А.А. Авдеева и П.А. Акользин для контроля внутренней эксплуатационной коррозии паровых котлов использовали водородометрию. Н.Н. Манькина (ВТИ), А.Б. Вайнман (Донецкое отделение ОАО «Фирма ОРГРЭС») показали связь концентрации водорода в паре котла с щелочефосфатным отношением котловой воды.

Таким образом, трудами ученых и инженеров создана и может быть развита база для увеличения эффективности противокоррозионных мер и расширения диагностических возможностей соответствующих элементов системы химико-технологического контроля.

При отпуске пара на производство и сверхнормативной загрязненности возвратного конденсата продуктами коррозии персонал ТЭЦ среднего давления сталкивается с проблемой неполного возврата конденсата и больших экономических потерь. ТЭЦ и предприятие-потребитель пара терпят убытки. Прием электростанцией загрязненного конденсата приводит к образованию в экранных трубах котлов железооксидных отложений, что создаёт угрозу их перегрева и разрушения. Для исключения указанных убытков требуется обоснование необходимости и разработка мероприятий по эффективному контролю и подавлению внутренней коррозии трубопроводов конденсата на базе усовершенствованных технологических водоподготовки и зависимостей технологических характеристик (закономерностей) массообмена при внутренней коррозии.

Максимально допустимая концентрация соединений железа в возвратном конденсате

при его поступлении на ТЭЦ, вне зависимости от ее параметров, составляет 0,1 мг/дм<sup>3</sup>. Как правило, возвратный конденсат ТЭЦ среднего давления содержит большее количество соединений железа и имеет значение pH<sub>25</sub> менее нормативно допустимого. С одной стороны, механическое и Na-катионитное обезжелезивание такого «кислого» конденсата малоэффективно. С другой стороны, не все ТЭЦ оборудованы даже такими установками очистки конденсата. Конфликтные ситуации, возникающие при поиске субъекта договора о пароснабжении, виновного в загрязнении конденсата, приводят к ограничению рынка сбыта вырабатываемой ТЭЦ тепловой энергии.

Чаще всего причиной сверхнормативного загрязнения возвратного конденсата соединениями железа является внутренняя коррозия трубопроводов.

В качестве противокоррозионных мероприятий рекомендуются:

- профилактические мероприятия (получение пара с минимальным содержанием коррозионных агентов, кислорода и свободной угольной кислоты; организация выпаров из парoisпользующего оборудования);

- коррекционная обработка химическими реагентами, в том числе нейтрализующим (аммиаком), и ингибиторами коррозии (пленкообразующими анодными ингибиторами, например октадециламином, хеламинами). Использование таких ингибиторов способствует решению проблем эксплуатационной и стояночной коррозии трубопроводов пара и конденсата.

Консервация трубопроводов подачи пара на производство и возвратного конденсата обсуждается крайне редко. В руководящих документах по консервации соответствующих указаний и рекомендаций не имеется.

Имеется положительный опыт применения хеламинов для коррекционной обработки питательной воды паровых котлов высокого давления и защиты от коррозии трубопроводов конденсата (например, Ефремовская ТЭЦ). Распространение этого опыта на ТЭЦ среднего давления возможно. Усложняющим обстоятельством является необходимость согласования такого технического решения с потребителем пара.

Использование аммиака для обеспечения pH<sub>25</sub> пара и подавления негативного влияния свободной угольной кислоты на коррозию трубопроводов конденсата ограничено либо потребителем пара, либо условием обеспечения работы латунных трубок пароводяных подогревателей без их аммиачно-кислородной коррозии.

Амминирование с небольшими дозами возможно только после проведения специальных мероприятий, направленных на уменьшение щелочности питательной воды. К ним от-

носятся повышение доли возвратного конденсата и уменьшение щелочности добавочной воды, например, при Na-Na / Cl-ионировании воды. Амминирование даже в этом случае возможно только при отсутствии охлаждения в теплообменниках с латунными трубками конденсатов, загрязненных кислородом.

Использование на ПГ ТЭЦ среднего давления (г. Родники) совместного H/Na-катионирования в двухслойном фильтре, загруженном карбоксильным катионитом Purolite C104 и сильнокислотным катионитом Purolite C100, позволило уменьшить щелочность добавочной воды, нормализовать концентрацию свободной угольной кислоты в паре котлов, уменьшить их непрерывную продувку, внутреннюю коррозию трубопроводов конденсата. Одновременно достигнуто уменьшение удельных (г-экв/г-экв) расходов реагентов на приготовление добавочной воды. Установлена необходимость двухступенчатой декарбонизации H/Na-катионированной воды или оборудования деаэрационного бака деаэрата DA-50 погружным бортовым устройством.

Существующие проблемы, связанные с возвратом конденсата, указывают на недостаточную эффективность предусмотренных противокоррозионных мер. Например, на текстильных предприятиях, потребляющих пар, технологически неизбежно загрязнение конденсата воздухом, поэтому перед отправкой конденсата на ТЭЦ целесообразна его деаэрация. Конденсат парoisпользующего оборудования технологических потребителей имеет температуру в диапазоне от 70 до 95 °С. Таким образом, вполне возможна его как вакуумная, так и атмосферная деаэрация. Данные энергетических обследований деаэраторов, используемых в энергетике, показывают энергетическую эффективность применения классических деаэраторов типа ЦКТИ. Для парoisпользующего промышленного предприятия может быть рекомендован также деаэратор центробежный вихревой (ДЦВ) Б.А. Зимина. Он малогабаритен и прост в обслуживании [1].

Основным катодным деполяризатором при коррозии стали в контурах ТЭС является кислород. Представления об определяющей роли катодной кислородной деполяризации коррозии стали наглядно подтверждаются экспериментальными данными [2]. Скорость коррозии стали в конденсате прямо пропорциональна массовой концентрации в нем кислорода.

Значения pH конденсата зависят от содержания в нем свободной угольной кислоты. С увеличением температуры ее относительный вклад в коррозию увеличивается. При температуре воды 60 °С относительный вклад в коррозию стали катодного процесса с водородной деполяризацией составляет около 6 % и увеличивается при дальнейшем росте температуры. Однако это не означает, что именно таков и

всегда мал вклад угольной кислоты в коррозию стали. Эта коррозия, как правило, протекает с катодным контролем. Катионы водорода участвуют в нейтральной и кислой среде в катодной реакции восстановления кислорода. Кроме того, анионы угольной кислоты способствуют анодной деполяризации, подавляя пассивацию стали, обеспечивая вынос продуктов и постоянство скорости коррозии. Таким образом, мнение о том, что коррозионная активность угольной кислоты, по сравнению с коррозионной активностью эквивалентного количества кислорода, много меньше, не означает того, что ее вклад в коррозию не превышает 6 %. Во-первых, эквивалентное содержание свободной угольной кислоты в воде, даже определенное по фенолфталеину как «отсутствие», в конкретных условиях может превышать содержание кислорода. Во-вторых, кислород и угольная кислота участвуют в едином коррозионном процессе, а экспериментальные данные подтверждают сильное взаимное влияние этих веществ на коррозию стали.

На основании опыта эксплуатации трубопроводных систем и энергетического оборудования можно утверждать следующее:

– угольная кислота при увеличенных фактических концентрациях ускоряет коррозию стали в воде с малым содержанием кислорода (от 0,01 до 0,10 мг/дм<sup>3</sup>) и в меньшей степени в воде с повышенным содержанием кислорода (более 0,10 мг/дм<sup>3</sup>). В присутствии угольной кислоты в конденсате не происходит пассивации стали и коррозии стали с течением времени не ослабевает;

– в отсутствие свободной угольной кислоты в горячих водах снос и транспорт продуктов кислородной коррозии стали затруднены.

Недостатки гравиметрии известны, но отказ от нее в настоящее время невозможен. Наш опыт подтверждает возможность расширения диагностических возможностей системы химического контроля с применением кислородометрии. Естественно, для «калибровки» уравнения измерения скорости внутренней коррозии приходится использовать как результаты ее гравиметрических измерений, так и результаты измерений концентраций продуктов коррозии. «Солевая» методика оценки скорости коррозии по приросту массовой концентрации соединений железа в воде (конденсате) имеет существенную погрешность. Действительно, при малом значении этого прироста погрешность количественного химического анализа (ОСТ 34-70-953.4-88. Фотоэлектроколориметрия, сульфосалицилатный метод; ПНД Ф 14.1:2.50-96), даже без учета погрешности пробоотбора, может оказаться сопоставима с указанным приростом. В этих условиях при определении скорости коррозии приходится доверять все-таки методам кислородомет-

рии и водородометрии, так как они имеют лучшие метрологические характеристики.

При установлении закономерностей (зависимостей технологических характеристик) массообмена при коррозии стали в конденсате и сетевой воде использована ее зависимость от массовой концентрации кислорода. При этом учтено следующее:

1) коррозия стали протекает с диффузионным контролем катодной реакции восстановления кислорода. Стационарное значение скорости коррозии в присутствии свободной угольной кислоты прямо пропорционально концентрации кислорода в конденсате:

$$V_k = (K_{\text{диф}} * C_{O_2} * 3600/\delta) * X_k,$$

где  $X_k$  – доля площади катодов;  $K_{\text{диф}}$  – коэффициент диффузии;  $\delta$  – толщина диффузионного слоя;  $C_{O_2}$  – массовая концентрация кислорода.

Объединяя все множители этого уравнения в комплекс  $K_y$ , кроме  $C_{O_2}$ , получаем

$$V_k = K_y * C_{O_2},$$

где  $K_y$  – условная константа скорости коррозии, определяемая экспериментально;

2) условная константа скорости коррозии  $K_y$  зависит от скорости  $W$  потока воды (конденсата). Эта зависимость для области температур конденсата от 70 до 80 °С, определенная с использованием литературных данных, имеет вид

$$K_y = K_{y1} (0,03927 \ln W + 1,408),$$

где  $K_{y1}$  – условная константа скорости коррозии при скорости потока воды (конденсата), равной 1 м/с;

3) промежуточными продуктами коррозии являются соединения железа (II), которые в дальнейшем окисляются до соединений железа (III).

При этих условиях и рассмотрении трубопровода как реактора идеального вытеснения определяющей закономерностью является зависимость относительного текущего значения концентрации кислорода в конденсате ( $C/C_0$ ) от его расхода ( $Q$ , м<sup>3</sup>/ч), диаметра ( $D$ , м) и длины ( $L$ , м) трубопровода:

$$C/C_0 = \exp(-\pi DL K_y/Q),$$

где  $C_0$ ,  $C$  – концентрации кислорода в конденсате в начальном участке корродирующего трубопровода ( $L = 0$ ) и в конденсате на расстоянии  $L$  от начала трубопровода соответственно, мг/дм<sup>3</sup>;  $D$  – внутренний диаметр трубопровода конденсата, м;  $K_y$  – определенная экспериментально условная константа скорости коррозии углеродистой стали.

Экспериментальные данные подтверждают применимость указанных зависимостей лишь при экспериментальном определении условной константы скорости коррозии, что связано с необходимостью учета влияния хи-

мического состава примесей воды на перенапряжение восстановления кислорода в катодном процессе и на локальные анодные процессы. Несмотря на эту необходимость, косвенное определение скорости коррозии по изменению концентрации кислорода в воде вполне возможно, что объясняется стехиометричностью его расхода при коррозии. При этом дополнительно измеряемым параметром является расход воды (или конденсата) [3].

Следует обратить внимание на зависимость результата контроля качества возвратного конденсата от гидравлического режима работы трубопровода (рис. 1). В частности, от этого зависит результат кислородометрии, необходимый для установления причин загрязнения конденсата продуктами коррозии. Аналогичная ситуация возникает при оценке коррозионных условий в закрытых тепловых сетях, когда подпиточная вода недеаэрирована, а в сетевой воде концентрация кислорода вполне «благополучна».

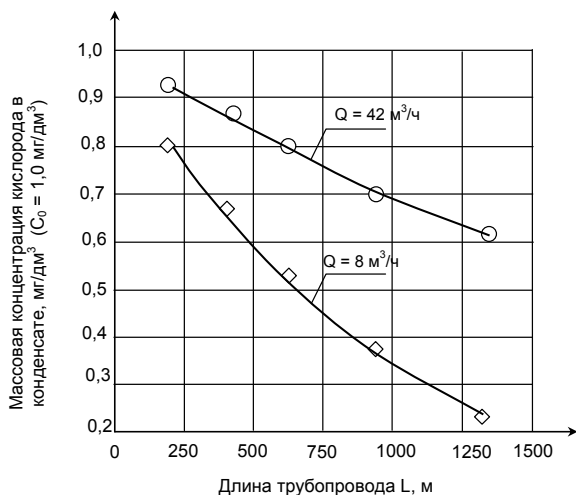


Рис. 1. Зависимость массовой концентрации кислорода в возвратном конденсате от его расхода и длины трубопровода

На рис. 2 приведены расчетные (расчеты основаны на экспериментально проверенных данных) значения годовых средних коррозионных утонений стенок. При начальной концентрации кислорода в конденсате, равной 1 мг/дм³, почти половина трубопровода корродирует с аварийной скоростью коррозии, а вторая половина – с высокой. При начальной концентрации кислорода в конденсате, равной 0,1 мг/дм³, почти половина трубопровода корродирует с допустимой скоростью коррозии, а вторая половина – с низкой. На основании этих данных следует признать допустимой начальную концентрацию кислорода в конденсате равной 0,1 мг/дм³.

К сожалению, при проектировании ТЭЦ, как правило, не выполнялся учет фактического состояния пароконденсатного хозяйства производства – потребителя пара. При наличии

требований Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей РФ (ПТЭЭС и С) к качеству возвратного конденсата, поступающего на ТЭЦ, отсутствуют требования к его качеству на входе в транспортирующий трубопровод. Это затрудняет выполнение требований ПТЭЭС и С и становится причиной сброса конденсата, загрязненного продуктами коррозии, и потерь тепла.

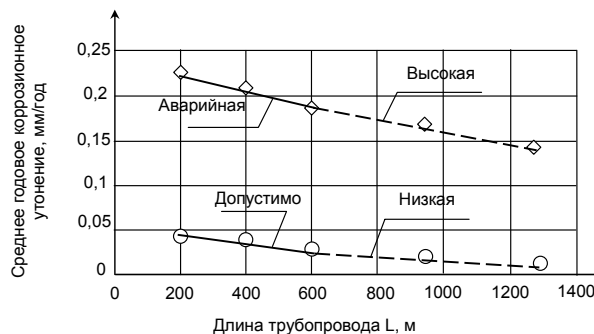


Рис. 2. Зависимость среднего годового утонения стенки трубопровода возвратного конденсата от его длины и начальной концентрации кислорода в конденсате: верхняя кривая – при начальной концентрации кислорода 1,0 мг/дм³; нижняя кривая – при начальной концентрации кислорода 0,1 мг/дм³ (расчет выполнен для эксплуатации трубопровода с максимальной гидравлической нагрузкой)

Полученные технологические характеристики массообмена при коррозии позволяют установить допустимое содержание кислорода на входе в трубопровод конденсата по условию его приема ТЭЦ. Например, для ТЭЦ при длине трубопровода 1300 м (по ПТЭЭС и С концентрация соединений железа в возвратном конденсате в пересчете на Fe не более 0,1 мг/дм³) допустимая концентрация кислорода равна:

- 0,1 мг/дм³ при работе этого трубопровода с полной гидравлической нагрузкой;
- не более 0,05 мг/дм³ при его работе во всем диапазоне рабочих гидравлических нагрузок.

Для решительного улучшения качества возвратного конденсата требуется уменьшить содержание кислорода в нем либо профилактическими мерами, либо деаэрацией. Но и в этом случае перед первичным включением в работу построенного трубопровода требуется его предпусковая очистка от продуктов атмосферной коррозии.

### Заключение

Основной задачей при ведении водно-химического режима существующих ТЭЦ среднего давления является предотвращение внутренней эксплуатационной и стояночной коррозии трубопроводов возвратного конденсата.

Подавлению внутренней коррозии трубопроводов возвратного конденсата способству-

ет комплексная оптимизация систем ведения ВХР, в том числе:

– на ТЭЦ путем уменьшения щелочности питательной воды, например, с использованием фильтров совместного H/Na-катионирования и коррекционной обработки пленкообразующими аминами или аммиаком;

– у удаленного от ТЭЦ потребителя пара путем исключения азрации конденсата и его деаэрации.

Основным агентом при коррозии трубопроводов возвратного конденсата является кислород. Для оперативного контроля внутренней коррозии этих трубопроводов и оценки эффективности противокоррозионных мер применима кислородометрия.

#### Список литературы

1. **Деаэрационная** установка двойного назначения на основе центробежно-вихревых деаэраторов / А.В. Мошкарин, Г.В. Ледуховский, В.Н. Виноградов, Б.А. Зимин, Б.А. Топоров, И.А. Борисов // Вестник ИГЭУ. – 2009. – Вып. 4. – С. 8–10.

*Виноградов Владимир Николаевич*,  
ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,  
кандидат технических наук, доцент кафедры химии и химических технологий в энергетике,  
адрес: г. Иваново, ул. Рабфаковская, д. 34, кор. В, ауд. 432,  
телефон (4932) 38-57-83,  
e-mail: V.N.Vinogradov@mail.ru

*Шатова Ирина Анатольевна*,  
МП «Ивгортеплоэнерго»,  
кандидат технических наук, начальник службы контроля и диагностики тепловых энергоустановок,  
адрес: г. Иваново, ул. Рабфаковская, д. 2/1,  
телефон (4932) 30-37-69.

*Ледуховский Григорий Васильевич*,  
ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,  
кандидат технических наук, доцент, заместитель заведующего кафедрой тепловых электрических станций,  
телефоны: (4932) 41-60-56, 26-99-31,  
e-mail: lgv83@yandex.ru

*Барочкин Юрий Евгеньевич*,  
ЗАО «Ивэнергосервис»,  
старший инженер,  
адрес: г. Иваново, ул. Шестернина, д. 3,  
телефон (4932) 37-22-02.

*Дорошко Юлия Николаевна*,  
ПГ ТЭЦ ЗАО «Родниковская энергетическая компания»,  
начальник ХВО,  
адрес: г. Родники, ул. Советская, д. 20,  
телефон (49336) 2-33-46.

*Зайцев Виктор Николаевич*,  
ООО «Взор»,  
старший инженер,  
адрес: г. Нижний Новгород, Заводской Парк, д. 33,  
телефон (831) 229-62-98.

2. **Шкроб М.С., Прохоров Ф.Г.** Водоподготовка и водный режим паротурбинных электростанций. – М.; Л.: Госэнергоиздат, 1961. – 471 с.

3. **Особенности** нормирования качества сетевых вод и увеличение информативности контроля внутренней коррозии тепловых сетей, трубопроводов конденсата и систем охлаждения / В.Н. Виноградов, И.А. Шатова, В.К. Аван, А.В. Шувалов // Повышение эффективности энергетического оборудования: мат-лы V Всерос. науч.-практич. конф. 12.11. 2010 г. – Иваново, 2010. – С. 192–197.

#### References

1. Moshkarin, A.V., Ledukhovskiy, G.V., Vinogradov, V.N., Zimin, B.A., Toporov, B.A., Borisov, I.A. *Vestnik IGEU*, 2009, issue 4, pp. 8–10.

2. Shkrob, M.S., Prokhorov, F.G. *Vodopodgotovka i vodnyy rezhim paroturbinnnykh elektrostantsiy* [Water Treatment and Water-Chemical Regime of Steam-Turbine Power Plants]. Moscow–Leningrad, Gosenergoizdat, 1961. 471 p.

3. Vinogradov, V.N., Shatova, I.A., Avan, V.K., Shuvalov, A.V. *Osobennosti normirovaniya kachestva setevykh vod i uvelichenie informativnosti kontrolya vnutrenney korrozii teplovykh setey, truboprovodov kondensata i sistem okhlazhdeniya* [Special Features of Heating Water Quality Normalization and Increasing Information Capability of Control of Heating Systems Internal Corrosion, Condensate Pipelines and Cooling Systems]. *Povyshenie effektivnosti energeticheskogo oborudovaniya*, 2010, pp. 192–197.