

УДК 621.182.12

В.Н. ЩЕРБАКОВ

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ И КОНТРОЛЯ НА УСТАНОВКАХ ПО ТЕРМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКЕ ВОД

Разработана методика оперативного контроля процесса генерации пара в установках по термической очистке вод на ТЭС и ТЭЦ с целью предотвращения нерасчётных режимов испарителей. Выполнен анализ результатов испытаний малоинерционного устройства контроля качества пара.

Ключевые слова: испарители, качество пара, оперативный контроль, кондуктометрический датчик.

Введение. На ТЭС и ТЭЦ для восстановления потерь пара и конденсата часто используют метод термического обессоливания добавочной воды паротурбинных установок [1-3]. При правильно организованном процессе испарения воды, подвергающейся очистке в испарителях, потеря жидкой фазы незначительна, что позволяет получать конденсат, соответствующий нормам технической эксплуатации ТЭС [1].

Преимущество термического метода очистки по сравнению с химическим ощутимо для вод повышенной минерализации [4]. Метод является перспективным при разработке безотходных технологий, создаваемых с целью сведения к минимуму количества вредных стоков [3-5], позволяет производить очистку вод с повышенным содержанием органических примесей, часть из которых при температурах 523–583 К разлагается с образованием коррозионно-активных соединений, что приводит к усилению коррозии оборудования и преждевременному выходу из строя турбин [6-9]. Органические примеси не только усиливают коррозионные процессы, но и вызывают загрязнение насыщенного и перегретого пара хлоридами и сульфатами [9]. Эффективность термической очистки зависит от совершенства системы оперативного контроля качества дистиллята испарителей. Своевременное предупреждение нарушений в работе испарителей и устранение вызвавших их причин позволяет уменьшить затраты, связанные с аварийными остановами, ремонтом, экологическими потерями при отключении оборудования и последующих пусковых операциях, потерями электровыработки, коррозионными повреждениями поверхностей нагрева и проточной части турбин, сокращением межпромывочных периодов [10]. В системах оперативного контроля на ТЭС и ТЭЦ, использующих сигнал от датчика электропроводности на линии дистиллята испарителей, имеет место погрешность в показаниях, связанная с транспортным запаздыванием пробы, достигающим нескольких минут. Для доставки пробы пара, конденсации и охлаждения конденсата требуется время, которое возрастает с увеличением расстояния от датчика измерительного прибора до испарителя.

При низком качестве пара система аварийной защиты изменяет направление потока дистиллята с запаздыванием, что может привести к увеличению содержания соли в котловой воде и паре.

Постановка задачи. Совершенствование систем оперативного контроля качества пара испарителей возможно при разработке методов и устройств, использующих сигналы датчиков, размещенных в пространстве испарителей в паре. В этом случае во много раз уменьшается время транспортного запаздывания пробы и возрастает эффективность работы системы защиты и сигнализации.

Принцип действия, конструкция датчиков и место их установки выбираются на основании анализа процессов генерации пара при различных режимах работы испарителей.

Анализ факторов, влияющих на качество пара. Наиболее часто на ТЭС и ТЭЦ применяются испарители типа «И» с греющими элементами, погруженными в объём испаряемой жидкости [1]. Основными элементами испарителя являются цилиндрический вертикальный корпус, греющая секция, паропромывочные устройства и жалюзийный сепаратор (рис.1).

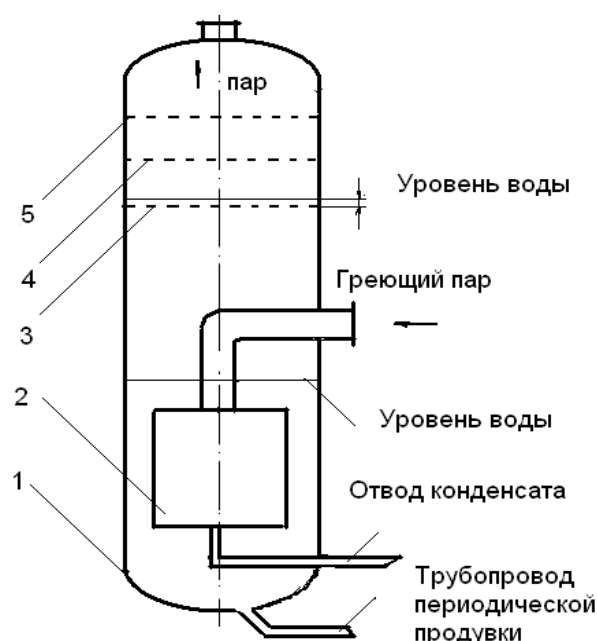


Рис.1. Схема испарителя: 1 – корпус испарителя;
2 – греющая секция; 3,4 – нижнее и верхнее паропромывочные устройства;
5 – жалюзийный сепаратор

Уровень воды над греющей секцией 2 поддерживается регулятором. На некотором расстоянии от греющей секции над уровнем воды размещено устройство для промывки пара 3 в виде дырчатого листа, на который подаётся питательная вода. При высоких требованиях к качеству пара в испарителях над первым устанавливается второе паропромывочное устройство 4, где промывочной жидкостью является дистиллят.

Пар, барботируя через слой жидкости на первом и втором промывочных листах, очищается от уносимых им капель упариваемой жидкости (концентрата) и жидкости, захватываемой с первого промывочного листа. Над паропромывочными листами располагается пластинчатый сепаратор 5, на котором задерживаются капли жидкой фазы, присутствующие в паре.

Механизм выделения пара из водяного объёма испарителя зависит от солесодержания концентрата. С ростом минерализации концентрата при переходе через критическое солесодержание (3-6 г/кг) изменяется структура потока на подъёмном и опускном участках контура циркуляции и гидродинамический режим работы испарителя. Происходит снижение весового уровня в опускной щели и увеличение капельного уноса [11].

В испарителях с промывкой пара питательной водой её условное солесодержание не должно превышать 2-3 г/кг [1]. Если после умягчения солесодержание промывочной воды будет близким к критическому, то унос капельной влаги над листом может возрасти вследствие вспенивающего воздействия растворённых в воде веществ.

При закритическом солесодержании промывочной воды замедляется её переток через переливы и возрастает уровень над промывочным листом, увеличивается влажность пара и вероятность выброса части промывочной воды в конденсатор с значительным ухудшением качества конденсата. При переходе через критическое солесодержание концентрата увеличивается паросодержание барботажного слоя [11]. В этом случае из забрасываемой в паровое пространство воды паровая фаза не выделилась, и жидкость поэтому приобретает ячеистое строение [1]. В застойных зонах скапливается пена, и при повышении содержания едкого натра в концентрате пена захватывается паром.

С увеличением паросодержания барботажного слоя при неизменной установке регулятора питания происходит уменьшение высоты парового пространства между истинным уровнем концентрата и нижним паропромывочным листом [11]. В таком случае необходима перенастройка регулятора питания для предотвращения заброса концентрата на паропромывочный лист. Корректная работа регулятора возможна лишь при измерении истинного (физического) уровня концентрата в испарителе или использовании в виде входных импульсов весовых уровней над центром греющей секции и в опускной щели. Уровень в испарителе изменяется и вследствие пульсационного характера процесса выделения пара из пароводяного объема, что затрудняет работу автомата питания.

Пути решения задачи. Анализ описанных выше процессов, оказывающих влияние на качество дистиллята испарителей типа «И», позволяет сделать вывод о необходимости организации оперативного контроля солесодержания дистиллята испарителя, концентрата, питательной воды на первом и конденсата на втором промывочных листах в ходе наладочных испытаний с целью предотвращения нерасчётных режимов работы.

В этом случае можно установить оперативную связь между регулируемыми параметрами (расход греющего и вырабатываемого испарителем пара, уровень концентрата, уровень воды и дистиллята на промывочных листах, величина продувки концентрата, состав концентрата) и солесодержанием в указанных точках и получить важную информацию для повышения эффективности работы системы регулирования режимных параметров и оценки влияния изменения каждого из них на солесодержание. Такая система контроля способна быстро фиксировать начало процесса захвата концентрата паром, степень очистки пара от жидкой фазы на промывочных листах и в жалюзийном сепараторе, оперативно следить за динамикой процесса образования «броска» концентрата с генерируемым паром при различных значениях нагрузки испарителя.

Следует отметить, что реализация предлагаемого метода контроля возможна лишь при условии наличия датчиков солесодержания, устанавливаемых в испарителе, способных производить достоверные измерения при рабочих параметрах контролируемой среды.

На первом этапе исследований мы ограничились контролем солесодержания в одной точке. Для повышения оперативности контроля качества пара испарителей нами была разработана оригинальная конструкция охлаждаемого датчика электропроводности, устанавливаемого в контролируемую среду – пар, в пространство испарителя над жалюзийным сепаратором. Датчик 1, выполненный из стали X18H10T, с трубками подвода и отвода охладителя 2 и электровводом 3 был укреплен на крышке люка (рис.2).

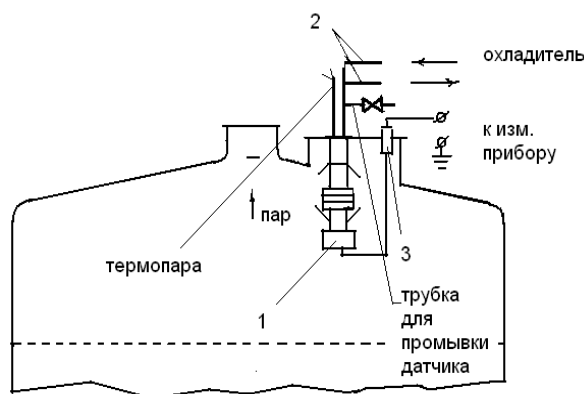


Рис. 2. Схема установки кондуктометрического датчика на испарителе:

1 – кондуктометрический датчик; 2 – трубки для подвода и отвода охладителя; 3 – электроввод

Электрическая изоляция и уплотнение изолированного от корпуса центрального электрода электропровода 3 осуществлены с использованием фторопласта 4. Конструкция узла электропровода, разработанная и описанная нами ранее в [12], была изменена. С целью повышения надёжности осуществлён вынос уплотнения в холодную зону.

Конструкция кондуктометрического датчика представлена на рис.3. При движении охлаждающей воды по змеевику 1 на его поверхности образуется конденсат контролируемого пара, который стекает под действием силы тяжести через воронку 2 в межэлектродное пространство датчика, где производится измерение его электропроводности.

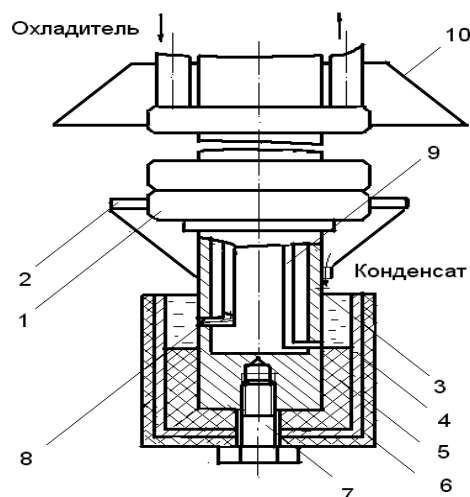


Рис. 3. Схема кондуктометрического датчика: 1 – змеевик; 2 – воронка; 3,4 – внутренний и внешний измерительные электроды; 5,6 – изоляторы (материал – фторопласт 4); 7 – стяжной винт (материал – фторопласт 4); 8 – термопара; 9 – трубка; 10 – козырёк

Жёсткое соединение элементов конструкции измерительной ячейки обеспечивается за счёт стяжного винта 7. Температура конденсата в ячейке контролируется по показаниям термопары 8, размещённой в герметичном чехле.

Для обеспечения возможности принудительной промывки ячейки, удаления из неё конденсата, заливки стандартных растворов KCl, с целью периодического контроля постоянной ячейки, в нижней части внутреннего измерительного электрода 3 установлена трубка 9, нижний конец которой приварен к боковой поверхности электрода, примыкающей к донной части ячейки.

Предотвращение попадания окалины с крышки испарителя на поверхность змеевика 1 обеспечивается за счёт козырька 10, установленного в верхней части змеевика.

Методы испытаний. Исследование работы охлаждаемого датчика проводили на лабораторной установке в паровом пространстве парогенератора. Полученные экспериментальные данные об электропроводности конденсата пара, генерируемого из обессоленной воды, позволили судить о качестве конденсата «чистого» пара в датчике. По стандартным растворам KCl в этиленгликоле, соответствующим ГОСТ 22868 – 77, в диапазоне концентраций ($2 \cdot 10^{-4}$ – $1 \cdot 10^{-3}$) моль/л при температуре $T=298$ К была определена геометрическая постоянная измерительной ячейки датчика K_y и исследовано влияние частоты измерительного тока на точность измерения электропроводности растворов. Опыты показали, что с уменьшением частоты от 10^4 с $^{-1}$ до 50 с $^{-1}$ при напряжении на электродах датчика (10 – 50) мВ K_y изменяется на (3 – 4,2) %.

Испытания датчика на действующем испарителе Луганской ГРЭС заключались в определении электрического сопротивления межэлектродного пространства датчика, заполненного конденсатом пара, при различных режимах работы испарителя (вплоть до искусственно вызванного «броска»).

Качество пара в ходе первой серии экспериментов изменялось варьированием уровня концентрата, расхода генерируемого испарителем пара, а также путём отключения подачи воды на промывочные листы. Конденсат пара испарителя сбрасывался в резервные ёмкости. Во второй серии экспериментов испаритель работал в обычном режиме в соответствии с требованиями пра-

вил эксплуатации. При проведении опытов измерялось сопротивление датчика, температура конденсата в измерительной ячейке и температура пара в испарителе. В химической лаборатории определялась электропроводность, содержание натрия, аммиака и углекислоты в отбираемых пробах конденсата. Время, необходимое для выхода датчика на стационарный режим работы после пуска охладителя, находилось в пределах 60-90 с. Варьированием расхода охладителя обеспечивалась температура конденсата в датчике, равная 353-363 К. В качестве измерительного прибора использовали мост переменного тока с самописцем. Измерения производили на частоте 50 с^{-1} .

Результаты эксперимента и их обсуждение. На основании экспериментальных данных получена зависимость сопротивления датчика R от концентрации примесей в паре (общего солевого содержания S) (рис.4).

Испытания в течение трёх месяцев на действующем испарителе показали, что результаты измерений коррелируются с учётом времени транспортного запаздывания пробы с показаниями штатного кондуктометрического солемера, датчик которого установлен в потоке конденсата [13,14]. При увеличении или уменьшении на 10–15 % R (см.рис.4) в диапазоне изменения S от 100 до 200 мкг/кг происходило соответственное увеличение или уменьшение показаний по шкале солемера на 5–25%. Величина рассогласования в изменении показаний приборов возрастала с ростом солевого содержания и достигала 80% и более в момент «бросков» при увеличении S в 5 и более раз.

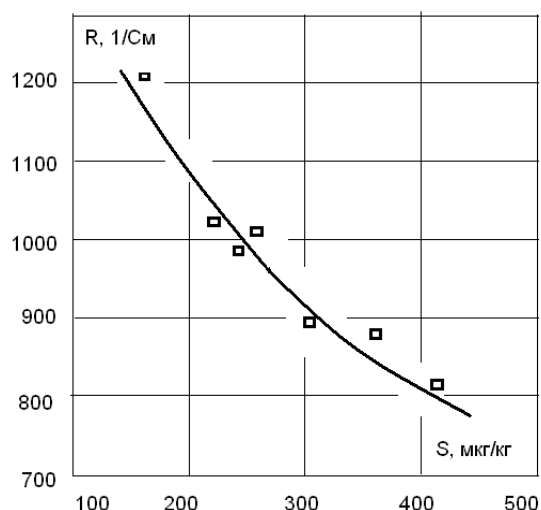


Рис.4. Зависимость сопротивления датчика от солевого содержания пара

При организации искусственно вызванных «бросков» выяснилось, что незначительные изменения режима (слабые «броски») могут быть зафиксированы только при определённой высоте установки датчика над жалюзийным сепаратором, которую мы нашли экспериментальным путём (320мм). После прекращения «бросков» происходит отмывка измерительной ячейки датчика «чистым» конденсатом, что предотвращает отложение солей на измерительных электродах ячейки и обеспечивает надёжность измерений.

Анализируя механизм парообразования при высокой минерализации концентрата [1,11], предполагаем, что при мощных «бросках» пароводяная смесь может быть неравномерно распределена по объёму пространства над жалюзийным сепаратором, что, возможно, внесет погрешность в результаты измерений с помощью датчика. Поэтому представляется целесообразным

проведение серии экспериментов при установке датчика в приёмном трубопроводе вторичного пара испарителя с дальнейшим сопоставлением результатов всех измерений.

Однако уже сейчас можно отметить, что датчик оперативно реагирует на увеличение солесодержания пара испарителя, что подтверждается анализом проб конденсата пара и синхронностью изменения показаний вторичных приборов датчика и кондуктометрического солемера. Поэтому он может быть использован в системах защиты от «бросков» на испарителях, когда солесодержание пара быстро возрастает в несколько раз, находится далеко за пределами допустимых норм, и главной задачей является не точное определение его величины, а быстрое срабатывание системы защиты.

Для более детального исследования процессов, происходящих в этом устройстве кондуктометрического контроля, размещённом в двухфазном потоке с изменяющимися скоростью, структурой, солесодержанием, необходимо не менее года испытаний.

В соответствии с правилами технической эксплуатации электрических станций и сетей (ПТЭС) [15] в конденсате испарителей, используемом в качестве добавочной воды для барабанных котлов, должно быть не более 100 мкг/кг соединений натрия в пересчёте на Na^+ и 2 мкг/кг свободной угольной кислоты. Для прямоточных котлов концентрация соединений натрия должна быть не более 5 мкг/кг. При контроле качества конденсата солемерами вклад в суммарную электропроводность могут вносить аммиак и другие примеси. В связи с тем, что особое внимание уделяется соединениям натрия, в работе [16] предлагается вместо солемеров использовать натремеры (например, рNa 205). На этапе отладки системы оперативного контроля представляется целесообразной установка солемера и натремера, что позволит оценить вклад соединений натрия в суммарную электропроводность.

Говоря о составе концентрата и конденсата вторичного пара испарителей, необходимо учитывать, что в концентрате могут присутствовать органические соединения, разлагающиеся с повышением температуры с образованием коррозионно-активных соединений [6-9]. В работе [17] нами было исследовано термическое разложение дихлорэтана $\text{C}_2\text{H}_4\text{Cl}_2$ и четырёххлористого углерода CCl_4 в автоклаве в воде на линии насыщения с образованием соляной кислоты. Изменение pH растворов $\text{C}_2\text{H}_4\text{Cl}_2$ и CCl_4 показано на рис.5.

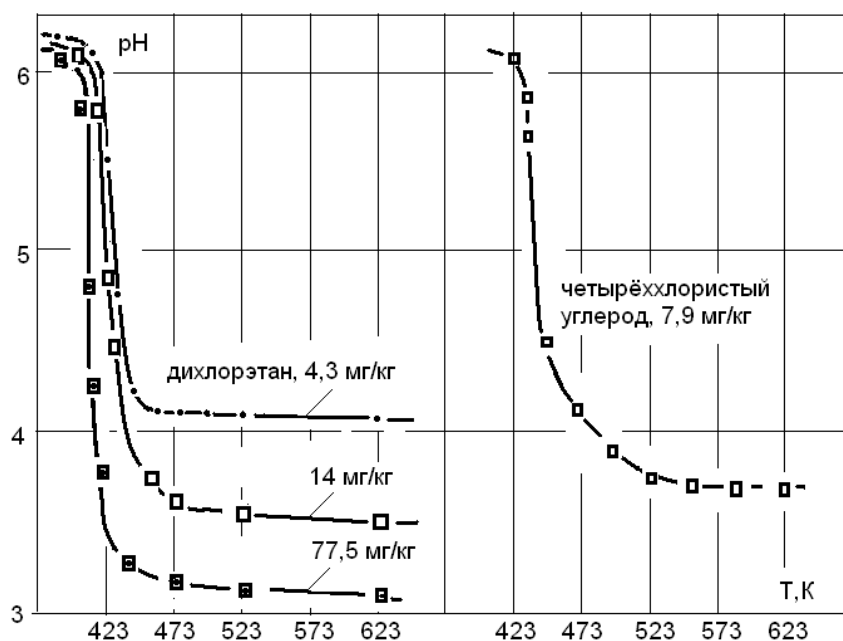


Рис. 5. Изменение значений pH растворов дихлорэтана и четырёххлористого углерода от температуры на линии насыщения

Результаты опытов показали, что процесс разложения начинается при 413 К и быстро заканчивается в диапазоне температур 413-443 К. Испарители типа «И» работают при давлении пара до 0,6 МПа, что соответствует температуре насыщения 438 К. Это позволяет сделать вывод о том, что в испарителе может происходить термическое разложение $C_2H_4Cl_2$ и CCl_4 .

Выводы. Предложена система оперативного контроля за ходом процесса генерации пара в испарителях типа «И» с использованием датчиков солесодержания дистиллята испарителя, концентрата, питательной воды и конденсата на промывочных листах при наладочных испытаниях с целью дальнейшего предотвращения нерасчётных режимов работы испарителей. Анализ результатов испытаний устройства оперативного контроля качества вторичного пара испарителя и данных, приведенных в работах [1,11,], позволил сделать следующие выводы:

1. Метод контроля и конструкция устройства для его реализации являются работоспособными и позволяют во много раз повысить оперативность контроля качества дистиллята и уменьшить вероятность загрязнения котловой воды и пара при аварийных режимах работы испарителей.

2. Необходимы дополнительные длительные испытания кондуктометрического датчика на действующем испарителе с отбором проб концентрата, химически очищенной воды с первого и конденсата со второго промывочного листа с последующим анализом на содержание натрия, углекислоты, аммиака, солей жёсткости и pH.

3. Нужна серия экспериментов при установке датчика в приёмном паропроводе испарителя, где неравномерность распределения концентрации примесей при «броске» воды с паром должна быть значительно меньше, чем в пространстве над жалюзийным сепаратором. Необходимо изучить влияние скорости потока пара на достоверность показаний датчика.

4. Для обеспечения доступа к датчику на работающем испарителе необходимо разработать конструкцию герметичного устройства, обеспечивающего извлечение и установку датчика без останова испарителя.

5. Режим работы испарителя зависит от совершенства системы регулирования уровня и солесодержания концентрата. Представляется целесообразным выполнение испытаний по проверке работоспособности систем регулирования уровня и солесодержания концентрата, использующих в качестве дополнительного сигнала от датчика качества пара испарителя.

Библиографический список

1. Стерман Л.С. Химические и термические методы обработки воды на ТЭС / Л.С. Стерман, В.Н. Покровский. – М.: Энергия, 1981. – 232с.
2. Седлов А.С. Стратегия защиты водоёмов от сброса сточных вод ТЭС ОАО «Мосэнерго» / А.С. Седлов и др. // Теплоэнергетика. – 1998. – №7. – С. 2-6.
3. Седлов А.С. Малоотходная технология переработки сточных вод на базе термохимического обессоливания / А.С. Седлов, В.В. Шищенко, С.И. Чебанов // Энергетик. – 1995. – №1. – С. 16-20.
4. Ларин Б.М. Технологическое и экологическое совершенствование водоподготовительных установок на ТЭС / Б.М. Ларин, Е.Н. Бушуев, Н.В. Бушуева // Теплоэнергетика. – 2001. – №8. – С. 23-27.
5. Юрчевский Е.Б. Разработка, исследование и внедрение водоподготовительного оборудования с улучшенными экологическими характеристиками / Е.Б. Юрчевский, Б.М. Ларин // Теплоэнергетика. – 2005. - №7. – С. 10-16.
6. Салашенко О.Г. Об источниках кислых органических продуктов в пароводяном контуре ТЭС / О.Г. Салашенко, В.С. Петин, Р.И. Бускунов // Энергетик. – 1996. – №8. – С. 17-18.
7. Коровин В.А. Способы обнаружения потенциально кислых веществ / В.А. Коровин, С.Д. Щербинина, И.Б. Ковалёв // Энергетик. – 1998. – №10. – С. 35-36.

8. Ходырев Б.Н. Продукты термолитиза органических соединений и их сорбция ионитами БОУ / Б.Н. Ходырев и др. // Теплоэнергетика. – 1998. – №7. – С. 20-24.
9. Петрова Т.И. О поведении органических примесей в тракте тепловой электростанции с барабанными котлами / Т.И. Петрова, О.С. Ермаков, Б.Ф. Ивин // Теплоэнергетика. – 1995. – №7. – С. 20-24.
10. Живилова Л.М. Состояние и перспективы развития работ по автоматизации контроля и управления водно-химическим режимом электростанций / Л.М. Живилова // Теплоэнергетика. – 2006. – №8. – С. 38-44.
11. Седлов А.С. Исследование гидродинамики водяного объёма испарителя И-600 на Саранской ТЭЦ-2. / А.С. Седлов и др. // Теплоэнергетика. – 2005. – №5. – С.2-8.
12. Щербаков В.Н. Исследование электрофизических свойств водных теплоносителей при высоких параметрах: дис.... канд. техн. наук / МЭИ. – М., 1980. – 204с.
13. Щербаков В.Н. Оперативный контроль на установках термической очистки природных вод. / В.Н. Щербаков, Е.А. Орлова // Применение математических методов и вычислительной техники в медико-гигиенических исследованиях: сб. тез. докл. науч.-прак. конф. – Киев, 1993. – С. 188-189.
14. Щербаков В.Н. Совершенствование контроля качества работы установок по термической очистке природных вод / В.Н. Щербаков, В.А. Крупин // Обзорение прикладной и промышленной математики. – 2002. –Т.9. – Вып.1. – С. 267-268.
15. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2006. – 264с.
16. Ларин Б.М. Автоматизированный химконтроль термохимического обессоливания воды / Б.М. Ларин, А.Н. Коротков, М.Ю. Опарин // Теплоэнергетика. – 1996. - №8. – С. 59-62.
17. Коровин В.А. Термическое разложение органических примесей производственных конденсатов / В.А. Коровин и др. // Энергетик. – 1980. – №5. – С. 24-25.

Материал поступил в редакцию 13.11.09.

V.N. SHCHERBAKOV

IMPROVEMENT OF THE SYSTEMS OF HANDLING AND CHECKING AT THE THERMAL WATER PURIFICATION PLANTS

The methods of operative checking the process of steam generation at the thermal water purification plants on the heat electric stations in order to prevent emergency mode vaporizers are designed. The analysis of the test results of the quick-response device of checking steam quality is done.

ЩЕРБАКОВ Владимир Николаевич (р.1948), доцент кафедры «Гидравлика, гидропневмоавтоматика и тепловые процессы» ДГТУ (1987), кандидат технических наук (1980). Окончил Казанский авиационный институт (1972).

Область научных интересов: исследование поведения примесей окружающей среды и водных теплоносителей электрофизическими методами.

Автор более 50 научных публикаций.

gidpnevmo@yandex.ru