УДК 621.182

СИСТЕМА ПОДГОТОВКИ ПРОБЫ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ВОДНО-ХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА КОТЛОТУРБИННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

© 2015 А.Г. Гимадиев[1], М.А. Гимадиев[2], А.З. Ермошкин[2], А.В. Уткин[1]

[1] Самарский государственный аэрокосмический университет им. акад. С.П. Королева (национальный исследовательский университет)
[2] ООО НПП «Гималаи», г. Самара

Поступила в редакцию 26.03.2015

Приведен анализ эксплуатирующихся систем подготовки проб для обеспечения контроля за водно-химическим режимом котлотурбинного оборудования тепловых электростанций, выявлены их недостатки и тенденции дальнейшего развития. Предложена усовершенствованная система подготовки проб и приведены результаты разработанных устройств защиты приборов автоматического химического контроля от повышенных температур пробы, фильтро-дросселирующего устройства. Приведены результаты исследования характеристик фильтро-дросселирующего устройства, термореле и отсечного клапана.

Ключевые слова: *тепловая электростанция, система подготовки проб, фильтро-дросселирующее устройство, термореле, отсечной клапан*

Надежная работа оборудования пароводяного тракта тепловых электростанции (ТЭС) в значительной мере определяется качеством теплоносителя [1], которое нормировано правилами технической эксплуатации котлотурбинного оборудования. Предельно допустимый уровень примесей в паре, питательной и котловой воде ТЭС определяет условия, предотвращающие образование отложений и развитие коррозионных повреждений поверхностей нагрева котлов и проточной части турбин.

Подготовка пробы конденсата перегретого пара для подачи к датчикам автоматического химического контроля (АХК) осуществляется в системах подготовки проб (СПП) [2], обеспечивающих необходимое снижение давления и температуры контролируемой среды и защиту приборов от чрезмерных их значений. Это обусловлено требованиями функционирования измерительных преобразователей и приборов АХК водно-химического режима ТЭС. Анализ эксплуатирующихся СПП показал отсутствие у большинства из них механической отсечки при превышении заданной температуры пробы. В некоторых СПП [3] постоянное давление пробы на входе приборов химического анализа обеспечивается переливным коллектором, который представляет собой трубку длиной 1,5 м с небольшой емкостью на конце. Это приводит к технологической сложности монтажа системы и возрастанию габаритов СПП. В условиях современных требований по энергосбережению следует уделять больше внимания минимизации потерь энергии, теряемой при отборе пробы. В рассмотренных устройствах подобные решения отсутствуют. Часто встречающимся недостатком является то, что фильтрация рабочей жидкости происходит после прохождения ею охлаждающего теплообменника [4-6]. Это в свою очередь может привести к ухудшению характеристик теплообменного аппарата и как следствие к значительному расходу охлаждающей воды. Необходимо предусматривать фильтрацию охлаждающей воды до теплообменника, чтобы избежать засорения и отложения накипи в системе. Существующие на рынке продукты имеют высокую стоимость, особенно устройство зарубежных компаний. Это вызвано сложными решениями по регулированию расхода и температуры в СПП.

В статье приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований по улучшению характеристик компонентов СПП, полученные в ООО НПП «Гималаи».

Гимадиев Асгат Гатьятович, доктор технических наук, профессор кафедры автоматических систем энергетических установок. E-mail: gimadiev_ag@mail.ru
Гимадиев Марат Асгатович, кандидат технических наук, главный конструктор. E-mail: gma@gimalai.com
Ермошкин Алексей Золяевич, начальник производства. E-mail: eraz@gimalai.com
Уткин Алексей Валерьевич, студент

Разработка СПП. Особое внимание при разработке СПП уделялось повышению надежности защиты измерительных приборов химического контроля от перегрева и эффективности фильтро-дросселирующих устройств (ФДУ). Гидравлическая схема разработанной СПП [7] приведена на рис. 1.

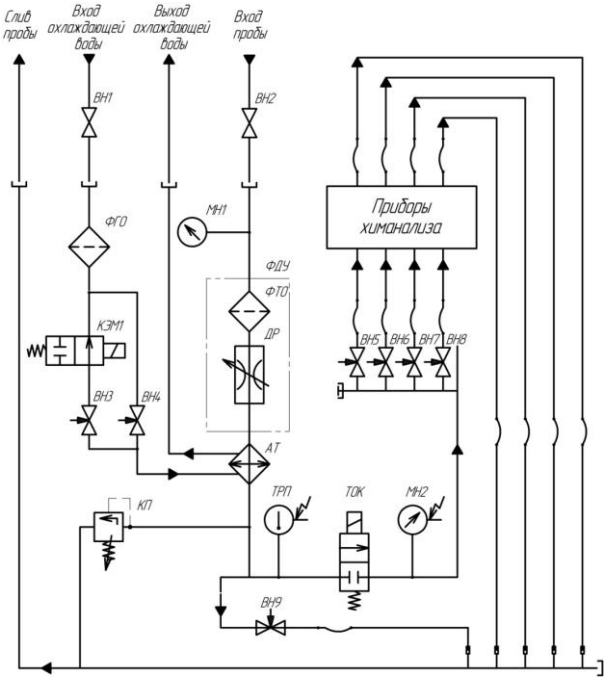


Рис. 1. Гидравлическая схема СПП производства ООО НПП «Гималаи»:
ВН 1 – вентиль подвода охлаждающей воды к системе; ВН 2 – вентиль высокого давления подвода пробы к системе; ВН 3 – вентиль байпаса охлаждающей воды; ВН 4 – вентиль основной охлаждающей воды; ВН 5-ВН 8 – вентили установки расхода пробы к приборам химанализа; ВН 9 – вентиль ручного отбора пробы; АТ – вторичный теплообменник; ФДУ – фильтро- дросселирующее устройство; ТРП – температурное реле показывающее; КП – клапан постоянного давления; КЭМ1 – клапан электромагнитный отсечной; ТОК – термоотсечной клапан; МН 1 – манометр входной; МН 2 – манометр электроконтактный выходной; ФГО – фильтр грубой очистки охлаждающей воды; ФТО – фильтр тонкой очистки пробы

Проба конденсата перегретого пара под давлением 250 МПа поступает через вентиль ВН 2 к ФДУ, где происходит ее очистка и дросселирование до давления 0,05-0,12 МПа (изб.). После этого проба поступает во вторичный теплообменный аппарат АТ, в котором происходит ее охлаждение до температуры 35±5^{o}С. Далее происходит измерение температуры пробы с помощью температурного реле показывающего ТРП, которое в случае превышения допустимого значения температуры пробы, формирует сигнал для закрытия термоотсечного клапана ТОК. Затем проба поступает к вентилям ВН 5-ВН 9, при помощи которых происходит настройка расхода к датчикам АХК. Слив пробы, прошедшей через датчики АХК, осуществляется в общий коллектор слива пробы КСП. Постоянное давление пробы на входе приборов АХК обеспечивается клапаном постоянного давления КП.

Подача воды для охлаждения пробы в теплообменный аппарат АТ осуществляется со станционного коллектора напрямую через вентиль ВН 4 и байпасно через вентиль ВН 3, электромагнитный клапан ЭМК 1 и фильтр грубой очистки ФГО. Вентилем ВН 4 задается среднее значение температуры пробы. С помощью байпасной подачи охлаждающей воды осуществляется регулирование температуры пробы. Регулирование температуры и защита по её превышению осуществляется электронным блоком индикации и управления ЭБУИ. На лицевой панели ЭБУИ можно наблюдать текущую температуру пробы и устанавливать программу подачи охлаждающей воды и температуру срабатывания термореле для отсечки пробы клапаном ТОК. При превышении установленных значений температуры и давлений пробы происходит предупредительная сигнализация.

Разработка ТРП и ТОК. Для прекращения подачи пробы к приборам АХК при превышении температуры сверх допустимого значения разработана система, состоящая из ТРП и ТОК. Температурное реле измеряет температуру пробы и формирует управляющий сигнал для ТОК. Термореле (рис. 2) конструктивно состоит из корпуса *1,* внутри которого размещен чувствительный элемент *2* – цифровой датчик температуры DS18B20. Для увеличения теплопроводности, пространство между датчиком *2* и корпусом *1* заполнено теплопроводной пастой *3* КПТ-8. Электрические выводы датчика температуры пропущены через отверстия во вставке *4*. В верхней части корпуса прикреплена индикаторная панель с кнопками настройки термореле.

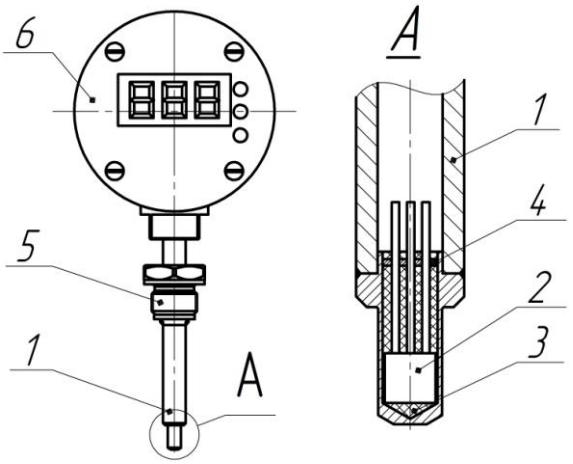
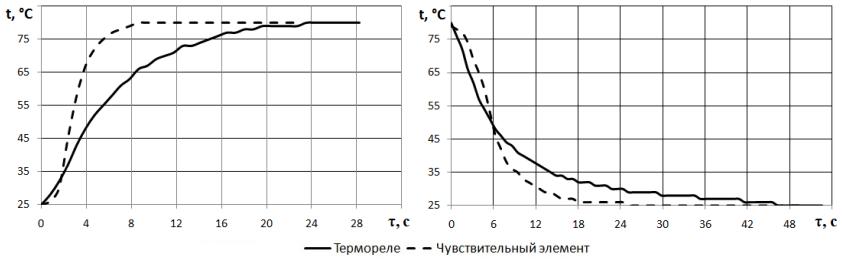


Рис. 2. Конструктивная схема термореле:
1 – корпус; 2 – датчик температуры DS18B20; 3 – теплопроводная паста КПТ–8; 4 – вставка; 5 – гайка для крепления к месту установки; 6 – индикаторная панель с кнопками управления

Одним из важных параметров термореле является его быстродействие. В связи с этим было проведено экспериментальное исследование его динамических характеристик [8]. Испытания были проведены отдельно для чувствительного элемента и для термореле в целом. В ходе испытаний термореле помещалось в ёмкость с водой при температуре t_1=25°C. При достижении установившейся температуры термореле быстро перемещалось в емкость с водой при температуре t_2=80°C. Регистрация данных производилась до наступления установившейся температуры (рис. 3). В качестве средства регистрации данных применялась аппаратная платформа Arduino. Аппроксимация переходного процесса производилась по минимуму среднеквадратичного отклонения, которая показала, что они идентичны переходной характеристике апериодического типового звена [9] с передаточной функцией $W(s)=\frac{k}{T\cdot s+1}$, где k – коэффициент передачи; T=3 с – постоянная времени для чувствительного элемента, T= 8 с – для термореле; s– переменная в преобразовании Лапласа.



а *б*

Рис. 3. Переходные характеристики чувствительного элемента и термореле в целом:
а – при нагревании; б – при охлаждении

Разработанный в ООО НПП «Гималаи» ТОК конструктивно представляет собой нормально закрытый электромагнитный клапан (рис. 4).

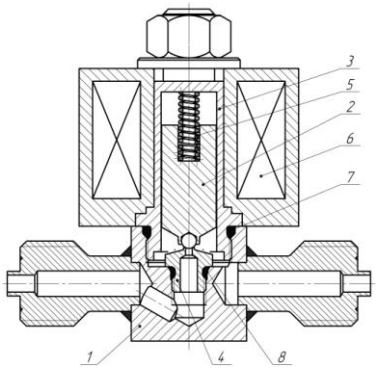


Рис. 4. Конструктивная схема ТОК:
1 – корпус; 2 – клапан-боек; 3 – крышка; 4 – седло; 5 – пружина; 6 – соленоид; 7, 8 – уплотнительные кольца

При отсутствии сигнала управления, клапан-боек *2*, установленный в крышку *3*, прижимается пружиной *5* к седлу *4*, вкрученному в корпус *1* – клапан закрыт. При поступлении напряжения на соленоид *6*, клапан-боек *2* приподнимается, открывая проходное сечение седла *4*. При температуре пробы, находящейся в рабочем диапазоне приборов АХК, клапан находится в открытом состоянии. При достижении температуры пробы, заданной оператором, как уставка в термореле, клапан закрывается, прекращая подачу пробы к приборам АХК.

Экспериментальные исследования ТОК заключались в определении его работоспособности при давлении пробы (воды) на его входе 30 МПа (рис. 5).

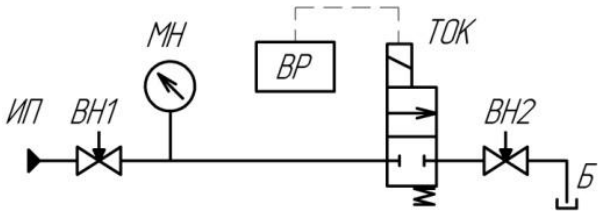


Рис. 5. Принципиальная схема установки для испытаний ТОК:
ИП – источник гидравлического питания; ВН 1, ВН 2 – запорный вентиль; ВР – временное реле; ТОК – термоотсечной клапан; Б – сливной бачок

После проведения определенного цикла срабатывания клапан подвергался разборке и дефектации. При этом основными проблемами, с которыми пришлось столкнуться авторам, явились негерметичность запорного органа и коррозия подвижного бойка электромагнита. В результате экспериментальных исследований и доводки был изменён диаметр седла запорного органа ТОК с 1,4 мм до 1,2 мм и заменён материал бойка на некорродирующую сталь. Таким образом, удалось обеспечить требуемую работоспособность ТОК. Быстродействие клапана определялось по времени, за которое клапан переходит из одного состояния в другое. Для этой цели был использован двухканальный осциллограф.

По первому каналу отслеживался управляющий сигнал, идущий на катушку ТОК, а по второму – величина давления за ТОК. Длительность срабатывания ТОК составляет 0,01 с.

Разработка ФДУ. При разработке ФДУ важным является подбор характеристик его элемента, в котором происходит рассеивание энергии находящейся под высоким давлением жидкости. Применяемые дросселирующие элементы основаны на потери энергии потока жидкости в наборе острокромочных диафрагм, байпасных щелей или узких каналов, образованных в трубке с помещённым в ней стержнем. Все перечисленные типы дросселирующих элементов реализованы в СПП отечественного или зарубежного производства. Существенным недостатком названных дросселирующих элементов является их подверженность засорению из-за узости каналов и недостаточной чистоты дросселируемой пробы. Поэтому возникла идея в реализации потери энергии не только за счёт дросселирования в каналах и отверстиях, но и при закрутке потока жидкости. Известны конструктивные схемы так называемых гидравлических диодов [10], в которых при движении жидкости в одну сторону происходит её закрутка, а в другую сторону жидкость протекает как через обычный жиклёр. При этом гидравлическое сопротивление такого гидравлического диода при движении жидкости в разные стороны может отличаться в зависимости от его конструктивного исполнения в 4-8 раз. Таким образом, можно воспользоваться таким гидравлическим диодом, организовав в ФДУ движение жидкости в сторону с большим гидравлическим сопротивлением, то есть с закруткой потока. При этом площадь его проходного сечения будет гораздо больше, чем у дросселя с узким каналом при одном и том же гидравлическом сопротивлении. Для выбора параметров и реализации такого вихревого дросселя (рис. 6) авторами были проведены теоретические и экспериментальные исследования.

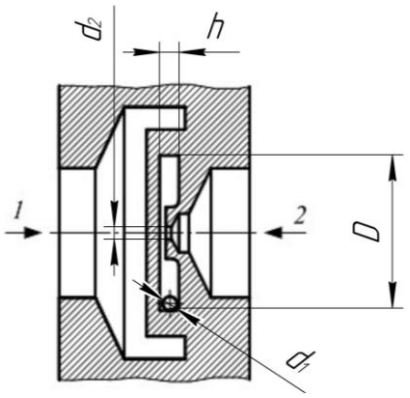
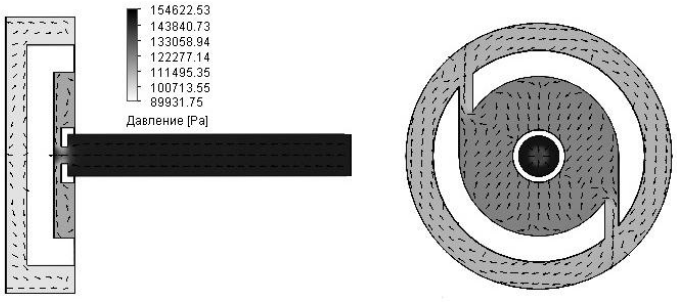


Рис. 6. Принципиальная схема вихревого дросселя

Выбор геометрии обусловлен местом установки вихревого дросселя в ФДУ. Характерными размерами вихревого дросселя являются диаметр отверстий для завихрения d1 (в дросселе использовалось два отверстия), диаметр выходного отверстия d2, размер вихревой камеры D×h. Применительно к ФДУ необходимо было исследовать характеристику вихревого дросселя со следующими размерами: d_1=1,2 мм; d_2=1,2 мм; D=12 мм; h=1,5 мм. Форма области расчета была максимально приближена к реальной детали.

При расчете характеристик вихревого дросселя (рис. 7) использовался программный комплекс SolidWorks Flow Simulation с учётом допущения о вязкой несжимаемой жидкости, абсолютно жестких стенках, шероховатости на стенке.



а б

Рис. 7. Снижение давления в вихревом дросселе: а – на выходе из центрального отверстия; б – в вихревой камере

В результате проведенных расчетных исследований была построена расходная характеристика вихревого дросселя в прямом и обратном направлениях (рис. 8). Последующие испытания вихревого дросселя на стенде с построением расходной характеристики показали хорошую сходимость теоретической и экспериментальной характеристик.

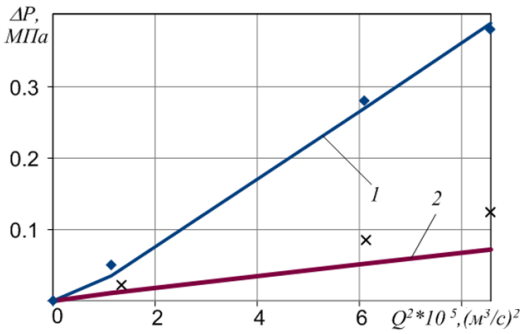


Рис. 8. Расходная характеристика вихревого дросселя:
1 – расчетная характеристика в направлении 1 (см. рис. 6); 2 – расчетная характеристика в направлении 2; ♦ – результаты эксперимента в направлении 1; × – результаты эксперимента в направлении 2

На основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований разработаны ФДУ, работоспособные при давлениях на входе 1,5; 15 и 25 МПа. Опыт эксплуатации на ряде предприятий энергетики показал их высокую надёжность и удобство в применении.

Выводы: проведен анализ эксплуатирующихся систем подготовки пробы конденсата перегретого пара, применяемых в химико-технологическом мониторинге паросилового оборудования ТЭС. Выявлены преимущества и недостатки систем. Разработана усовершенствованная СПП, позволяющая охлаждать и дросселировать пробу конденсата перегретого пара с температурой на входе до 100°С, давлением до 25 МПа до температуры 35±5°С и давления 0,05-0,12 МПа. Система обеспечивает в автоматическом режиме поддержание заданных параметров пробы на входе датчиков АХК. Разработано и изготовлено температурное реле, предназначенное для измерения и индикации температуры пробы, а также сигнализации и выдачи управляющего сигнала на ТОК при превышении заданной температуры. Разработан и изготовлен ТОК, способный перекрывать подачу пробы под давлением до 25 МПа по сигналу от термореле.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Вихрев, В.Ф.* Водоподготовка / *В.Ф. Вихрев, М.С. Ш*кроб.– М.: Энергия, 1973. 416 с.
2. РД 153–34.1–37.532.4–2001. Общие технические требования к системам химико-технологического мониторинга водно-химических режимов тепловых электростанций. – М.: Издательство стандартов, 2001. 41 с.
3. Устройство подготовки пробы «КВАРЦ-УПП»: руководство по эксплуатации. РЭ415-014-27428832-07. 41 с.
4. Устройство подготовки пробы: руководство по эксплуатации SENTRY. 13 с.
5. Устройство подготовки пробы: руководство по эксплуатации УПП-10М, УПП-20М. УПП 248.00.00.000РЭ. 13 с.
6. Устройство подготовки пробы: инструкция по монтажу и эксплуатации. –ЕВРОТЕХЛАБ, СПб. 12 с.
7. Пат. 32880 Российская Федерация, МПК[7] G01N1/10. Система подготовки пробы воды для автоматического химического контроля / *А.А. Гимадиев, М.А. Гимадиев, А.З. Ермошкин*; № 2003115546/20; заявл. 28.05.2003; опубл. 27.09.2003.
8. *Сабитова, И.А.* Идентификация динамических характеристик датчиков температур газового потока, эксплуатируемых в изделиях авиационной техники // Сбор. науч. трудов Межд. науч.-практ. конф. // Казанский государственный технический университет. 2014. С. 307-310.
9. *Шишмарев, В.Ю.* Основы автоматического управления. – М.: Издательский центр Академия, 2012. 352 с.
10. *Kulkarni, A.A.* Pressure drop across vortex diodes: Experiments and design guidelines / *A.A. Kulkarni, V.V. Ranade, R. Rajeev, S.B. Koganti* // Chemical Engineering Science. 2009. V. 64 P. 1285-1292.

SAMPLING SYSTEM FOR MONITORING THE WATER AND CHEMICAL REGIME OF BOILER-TURBINE EQUIPMENT AT THERMAL POWER PLANTS

© 2015 A.G. Gimadiyev[1], M.A. Gimadiyev[2], A.Z. Ermoshkin[2], A.V. Utkin[1]

[1] Samara State Aerospace University named after acad. S.P. Korolyov (National Research University)
[2] JSC RPE “Himalayas”, Samara

The analysis of operated sampling systems for ensuring the control of water and chemical regime of boiler-turbine equipment at thermal power plants is provided, their deficiencies and tendencies of further development are revealed. The advanced sampling system is offered and results of the developed devices for protection the devices of automatic chemical control against the increased temperatures of test, the filter and throttle device are given. Results of research the characteristics of filter and throttle device, temperature controller and shut-off valve are given.

Key words: *thermal power plant, sampling system, filter and throttle device, temperature controller, shut-off valve*

Asgat Gimadiev, Doctor of Technical Sciences, Professor at the Department of Automatic Systems of Power Plants. E-mail: gimadiev_ag@mail.ru; Marat Gimadiev, Candidate of technical Sciences, Chief Designer. E-mail: gma@gimalai.com; Aleksey Ermoshkin, Production Director. E-mail: eraz@gimalai.com; Aleksey Utkin, Student