

Ладислав Бурстик

Прямоточный котел в качестве автоклава для испытания органических реагентов, используемых для водно-химических режимов

АННОТАЦИЯ

Для исследования значения pH и концентрации органических анионов в первичном конденсате на Блоке IV электростанции SWM на юге Мюнхене был использован пробоотборник первичного конденсата поставленный компанией Alstom Switzerland AG. Для коррекции водно-химического режима использовалась смесь, содержащая слаболетучий пленкообразующий полиамин и летучие нейтрализующие и подщелачивающие амины.

Несмотря на неизбежное частичное разложение испытуемого химреагента, показатель pH первичного конденсата является более щелочным, чем pH основного конденсата блока.

ВВЕДЕНИЕ

Использование органических добавок – аминов – для обработки теплоносителя для кондиционирования воды второго контура реакторов с водой под давлением (PWR) широко распространено. Во втором контуре PWR оптимизация значения pH является принятой практикой при наладке водно-химического режима. Водно-химический режим с высоким содержанием аммиака или альтернативных ему аминов (морфолин, этаноламин, 3-метоксипропиламин и 5-аминопентанол) может снизить коррозию материалов вспомогательных систем, в особенности на участках, подверженных коррозионно-эрозионному повреждению в двухфазной среде [1].

Причина применения аминов во втором контуре PWR – это стремление снизить перенос продуктов коррозии железа, высвобождающихся по причине коррозионно-эрозионных повреждений, от изготовленных из углеродистой стали элементов конденсатно-питательного тракта в парогенератор. Загрязнение труб парогенератора является одним из параметров, которые могут вызывать падение давления пара и, при больших отложениях, привести к снижению мощности. Кроме того, образование продуктов коррозии и их последующий перенос из питательной воды в парогенератор повышает риск межкристаллитного коррозионного растрескивания под механическим напряжением (IGA/SCC) труб парогенератора, изготовленных из сплава Inconel 600. Помимо загрязнения и снижения теплообмена, продукты коррозии могут частично забивать отверстия каналов теплоносителя, что приводит к неустойчивости потока [2].

Ситуации с использованием органических химреагентов для обработки воды и пара на установках PWR и на электростанциях, работающих на ископаемом топливе, существенно различаются. Несмотря на то, что эти химические

реагенты широко используются на промышленных котлах и котлах-утилизаторах, они не рассматриваются ни в одном из всемирно принятых нормативных документов (например, [3-7]). Их неодобрительно называют «шарлатанскими», и они – оправданно или нет – имеют сомнительную репутацию в кругах специалистов.

ИСТОРИЯ

Вследствие роста применения органических химреагентов для обработки рабочих сред в циклах электростанций на ископаемом топливе (промышленная генерация электроэнергии) в восьмидесятых и в начале девяностых годов, Европейская техническая ассоциация теплоэлектростанций (VGB) в марте 1994 г. организовала конференцию «Применение органических химреагентов для обработки рабочих сред цикла» в Ланштайне [8]. Двадцать выступлений и очень широкое обсуждение продемонстрировало важность темы и некоторую неопределенность среди специалистов.

В заключительных комментариях к вступительному докладу конференции было заявлено следующее [9]:

«То, с чем мы ознакомились сейчас, иллюстрирует существование двух совершенно разных философий. С одной стороны, желание получить очень чистую рабочую среду в сочетании с оптимальным дизайном оборудования и правильным подбором материалов. С другой стороны, большая толерантность к дизайну оборудования и подбору материалов и, вследствие этого, большее количество химреагентов в циклах электростанций. Добавлением химреагентов можно исправить неоптимальный дизайн оборудования и неправильный выбор материалов. Это абсолютно необходимо в таких циклах для обеспечения стабильной работы блока. Однако один вопрос все еще требует и обсуждения, и ответа: вполне может быть, что применение некоторых органических реагентов для обработки воды и пара может улучшить водно-химический режим даже в циклах с оптимальными дизайном оборудования и подбором материалов».

Сегодня, к сожалению, ситуация в целом такая же, как и восемь лет назад: количество установок, использующих органические реагенты для обработки рабочей среды, стабильно растет, особенно в промышленной генерации электроэнергии и пара, и операторы до сих пор работают в области, не описанной ни в одном из всемирно принятых нормативных документов по водно-химическому режиму. Два примера:

- на крупном немецком НПЗ (РСК Schwedt в Бранденбурге) для подготовки водно-химического режима как на старой, так и на новой электростанции используется Хеламин (Helamin®) – смесь, содержащая слаболетучий пленкообразующий полиамин и летучие нейтрализующие и подщелачивающие амины. Основные эксплуатационные характеристики более крупной установки: паропроизводительность 700 т/ч, давление и температура свежего пара 90 бар/535°C [10-11];
- на одной из ТЭЦ на юге Германии (SWM, Мюнхен, Бавария), среди прочего, на прямоточных парогенераторах с промперегревом (давление и температура пара 200 бар/540°C, температура перегретого пара 540°C) используется этот же органический реагент для обработки паро-водяного тракта.

Несмотря на то, что эти два примера значительно отличаются друг от друга (циклы с барабанным котлом в одном случае и с прямоточным парогенератором в другом), у них есть одна важная общая характеристика. Выработка пара или тепла, отвечающая различным требованиям к выдаче (изменения нагрузки и частые запуски и остановки) не менее важны, чем собственно выработка электроэнергии. В первом случае пар подается на производственные площадки НПЗ (длина паропроводов свыше 70 км), во втором случае имеется разветвленная система центрального отопления, подающая горячую воду и пар в г.Мюнхен.

Положительный опыт, полученный в обоих примерах, работает в пользу применения органических реагентов для обработки паро-водяного тракта. По этой причине заслуживает рассмотрения самый деликатный вопрос в их применении – распад реагентов и влияние продуктов разложения на состав пленок первичного конденсата в цилиндре низкого давления турбины или в других компонентах оборудования, в которых происходит образование первичного конденсата.

РАСПАД ОРГАНИЧЕСКИХ РЕАГЕНТОВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПАРОВО-ВОДЯНОГО ТРАКТА

Теоретически сами по себе органические соединения недостаточно стабильны в условиях цикла тепловой электростанции. В частности, высокие температуры пара на электростанциях на ископаемом топливе в противовес низким температурам пара во втором контуре реактора с водой под давлением подтверждают это мнение. На практике многое говорит против этого предвзятого общего мнения. Соответствующая информация имеется в литературе (например, [13-14]).

При обсуждении стабильности органических соединений в условиях цикла электростанции на ископаемом топливе приобретает значение

кинетика распада, т.е. протяженность периода времени на конкретном участке цикла в условиях высокого давления и высокой температуры. Согласно Тавасту [15], в конкретной установке с барабанным котлом на 140 бар период времени, в течение которого химреагент остается в системе барабанного котла, составляет порядка одного часа (точное время зависит от процента продувки), а в пароперегревателе – порядка нескольких десятков секунд.

Рассматривая самый деликатный участок цикла – диски и лопатки ЦНД в контакте с пленками первичного конденсата, мы увидим, что действительное значение рН (при соответствующей температуре) в пленке является решающим фактором по отношению к началу или поддержанию вероятных процессов коррозии. В этой связи достойны упоминания расчеты Свободы [16]. При рассмотрении конкретного примера (усовершенствованная водоподготовка с использованием аминов на электростанциях с реакторами с водой под давлением) подчеркивается, что избыток органического подщелачивающего реагента может компенсировать присутствие продуктов распада этого подщелачивающего реагента, т.е. может поддерживать значение рН при температуре в соответствующем щелочном диапазоне.

Существует четкое различие между «подходящими» и «неподходящими» органическими реагентами для обработки теплоносителя. «Подходящие» реагенты дают меньше продуктов разложения, способны нейтрализовать их и создать щелочную среду на всех участках цикла, в частности, в критической зоне ЦНД. В промышленных системах парогенерации или на электростанциях с противодействием эта критическая зона сдвинута в узел, в котором может происходить первичная конденсация. Сообщалось, что даже там применение подходящего органического реагента для обработки теплоносителя может быть успешным [17].

Проблемы с растворимостью органических реагентов в воде достаточно известны. Многие поставщики этих реагентов используют растворители, которые никогда не указываются в составе смеси. Существует риск, что растворители могут влиять на состав жидких пленок, образующихся на ступенях турбины в области фазового перехода.

При рассмотрении распада органических реагентов для обработки теплоносителя было интересно узнать, что такой продукт, как Хеламин используется в двух установках с прямоточным парогенератором. По информации оператора, содержание органических анионов, измеренное в конденсированной пробе свежего пара, сравнительно низкое (Таблица 1).

		Блок IV, #406	Блок V, #506
Ацетаты	мкг/кг	16	34
Формиаты		2	2
Пируваты		-	2
Фталаты		5	-

Таблица 1: Анализ пара (содержание анионов определено при помощи ионной хроматографии) [12].

Проба #406 с блока VI была отобрана во время повторного запуска блока после короткого периода без нагрузки. Удельная электропроводность Н-катионированной пробы составила 0,48 мкСм/см и продемонстрировала тенденцию к снижению. Проба #506 с блока V была отобрана во время нормальной работы в установившемся режиме; удельная электропроводность Н-катионированной пробы составила 0,27 мкСм/см.

Требуемое значение рН в этих циклах составляет 9,0, и оно легко поддерживается за счет применения Хеламина. Как правило, удельная электропроводность Н-катионированной пробы в цикле стабилизируется во время работы в установившемся режиме в диапазоне 0,1 – 0,2 мкСм/см.

МОНИТОРИНГ ПЕРВИЧНОГО КОНДЕНСАТА

В настоящее время системы непрерывного мониторинга первичного конденсата на рынке отсутствуют. Имеется только три способа определить состав и характеристики первичного конденсата:

- использование пробоотборника первичного конденсата (ECS), описанного в [18-23];
- измерения на экспериментальных турбинах, оснащенных соответствующими устройствами для отбора проб и мониторинга (см., например, [24-32]);
- применение разработанного в Нидерландах коррозионного зонда для первичного конденсата [17].

В пробоотборнике ECS загрязнения удерживаются из пара в зависимости от количества конденсата, получающегося из пара. Концентрации различных компонентов определяются путем химического анализа. Как правило, значение рН и, следовательно, коррозионная активность первичного конденсата вычисляется на основании данных анализа. Преимущество данной методики в том, что пробоотборник можно подключить к любой паровой системе. Однако здесь существует ограничение, так как в пробу отбирается не самая первая жидкая фаза.

В экспериментальной турбине пленка первичного конденсата, образующаяся локально на лопатках

турбины, выпускается через каналы в турбинных лопатках и анализируется. Эта методика, в особенности в ее последнем состоянии (см. [29,33]), способна предоставить точную информацию об актуальном состоянии жидких пленок, сформированных на ступенях турбины в зоне фазового перехода. Недостатком методики является то, что на экспериментальную турбину подается пар из цикла существующей установки. В некоторых случаях качество рабочей среды в этом цикле может повлиять на качество пара в отношении концентрации примесей. Трудно точно перенести результаты испытаний на другие циклы промышленной генерации или когенерации.

При использовании коррозионного зонда для первичного конденсата можно получить некоторую полезную информацию о коррозионной активности и величине рН первичного конденсата. К сожалению, это устройство, как и пробоотборник первичного конденсата ECS, на рынке отсутствует. Хотя пробоотборник уже использовался на нескольких энергоустановках (поэтому можно сравнить между собой результаты с разных установок, и возможна некоторая экстраполяция в отношении концентрации примесей в первичном конденсате), но отчеты об измерениях коррозионным зондом для первичного конденсата основываются на ограниченных испытаниях [17, 33].

По этим причинам было принято решение использовать пробоотборник первичного конденсата производства компании Alstom Switzerland AG для оценки динамических характеристик Хеламина в цикле электростанции с проточным парогенератором.

ПРОГРАММА МОНИТОРИНГА НА ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ SWM НА ЮГЕ МЮНХЕНА

Определение задач мониторинга

Установки с прямоточными котлами на электростанции SWM на юге Мюнхена оборудованы фильтрами конденсатоочистки. При работе в установившемся режиме содержание хлоридов и сульфатов – за исключением периодов непосредственно после запуска или изменений условий цикла – низкое, как правило, составляет < 2 мкг/кг. Изменения концентрации хлоридов и сульфатов в установках, использующих гидразино-аммиачный водно-химический режим со сравнимым показателем рН питательной воды известны, поэтому поведение неорганических анионов в плановом исследовании не рассматривалось.

Более важными были следующие две задачи, прямо связанные с применением органических реагентов для обработки рабочей среды в установках с прямоточными парогенераторами:

- какова концентрация формиатов, ацетатов и пропионатов в первичном конденсате; и
- способны ли органические реагенты для обработки теплоносителя поддерживать

приемлемый уровень pH в начале конденсации?

Предполагается, что эти два котла являются единственными прямоточными котлами, работающих с использованием указанной методики органической обработки рабочей среды, хотя некоторые полевые испытания с применением аминов в циклах прямоточных парогенераторов были выполнены в Италии еще в начале семидесятых годов [34]. Результаты испытаний должны помочь оценить возможность применения Хеламина в системах на ископаемом топливе при температурах пара, сравнимых с температурами пара на электростанции SWM на юге Мюнхена (температура основного и промежуточного пара 540°C).

Устройство

ECS - пробоотборник первичного конденсата производства компании Alstom Switzerland AG был использован для отбора проб, которым соответствовала влажность пара 2,8 – 10,8%. На Рис.1 дана принципиальная схема устройства ECS. Подробное описание устройства можно найти в литературе (например, в [20, 35]).

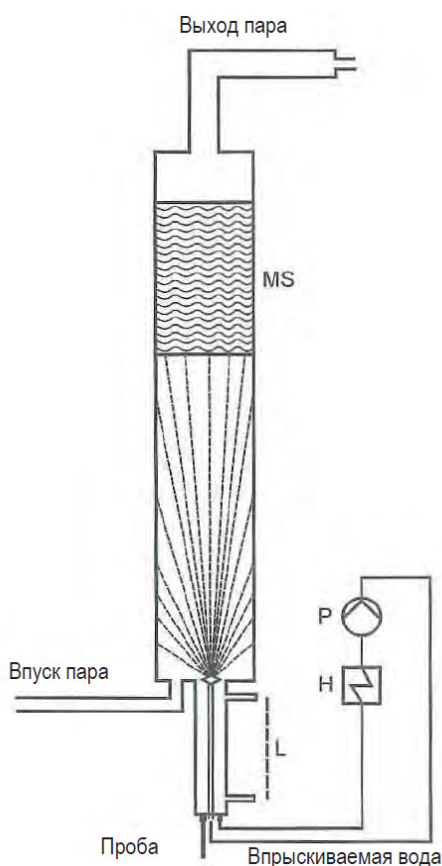


Рис.1: Принципиальная схема ECS [35].

- MS - сепаратор капельной влаги
- S - распылительное сопло конденсата
- P - насос
- H - теплообменник
- L - индикатор уровня

Анализы проб проводились частично в лаборатории энергетической компании, частично в лабораториях компании Allianz Zentrum für Technik GmbH (Исманинг, Германия), и частично в компании BHT GmbH (Кустердинген-Вакхайм, Германия). Для определения pH образцов конденсата был использован прибор Martek® Mark 22 In Situ Calibrator. Для определения органических анионов в образцах была применена ионная хроматография (метод по EN ISO 10304-1).

Результаты программы мониторинга

Значение pH первичного конденсата. В противоположность результатам, обычно получаемым на установках с использованием аммиака для подщелачивания питательной воды и пара, также и в сочетании с применением твердой щелочи для обработки котловой воды (когда первичный конденсат менее щелочной, чем основной конденсат), применение Хеламина приводит к повышению pH первичного конденсата. Типичные результаты испытаний приведены на Рис.2.

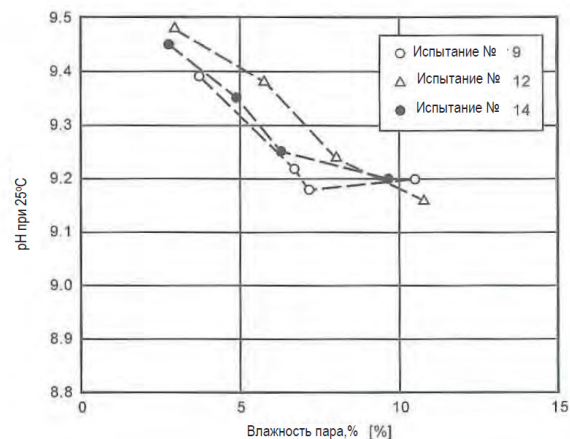


Рис. 2: Электростанция SWM на юге Мюнхена. Значение pH образцов первичного конденсата.

Концентрация органических анионов. Типичные результаты испытаний в части концентрации органических анионов в первичном конденсате показаны в Таблице 2.

Необходимо заметить, что содержание органических анионов в паре очень низкое. У нас есть все основания полагать, что использованная смесь реагентов либо очень стабильна в условиях цикла, либо продукты распада являются чем-то иным, чем низкомолекулярные органические кислоты, и поэтому не вызывают снижения pH. Даже учитывая увеличение концентраций формиатов и ацетатов в первичном конденсате, значение pH первичного конденсата остается щелочным и более высоким, чем pH свежего пара.

Ожидается, что даже при влажности пара ниже 2,8% (самое низкое значение влажности пара, измеренное во время проведения программы мониторинга) значение pH первичного конденсата будет достаточно щелочным.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Пробоотборник ECS производства компании Alstom Switzerland AG был использован для отбора проб первичного конденсата, который был в равновесии с насыщенным паром, содержащим 2,8 – 10,8% влажности. Программа измерений продемонстрировала, что:

- органические анионы (формиаты, ацетаты и пропионаты) концентрируются в первичном конденсате; степень концентрации соответствует данным литературы и полевых измерений;
- в противоположность типичным результатам, полученным в циклах с подщелачиванием аммиаком, значение pH первичного конденсата является более щелочным, чем у конденсата основного пара при использовании смеси из слаболетучего пленкообразующего полиамина и летучих нейтрализующих и подщелачивающих аминов (Хеламин) для обработки паро-водяного цикла электростанции.

Использованная смесь аминов является запатентованным продуктом. По этой причине невозможно рассмотреть результаты программы измерений, используя стандартные расчеты значения pH.

Влажность пара, [%]	Образцы	Формат	Ацетат	Пропионат
		[мкг/кг]		
10,8	Пар	< 2	12	< 10
	Первичный конденсат	7	86	< 10
	Соотношение концентраций	-	9	-
8,1	Пар	< 2	< 10	< 10
	Первичный конденсат	8	65	< 10
	Соотношение концентраций	-	-	-
5,8	Пар	9	< 10	< 10
	Первичный конденсат	70	72	10
	Соотношение концентраций	7,8	-	-
3,0	Пар	3	11	< 10
	Первичный конденсат	126	198	16
	Соотношение концентраций	42	18	-

Таблица 2: Электростанция SWM на юге Мюнхена. Типичные данные после трех серий испытаний.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] «Руководящие документы по организации водно-химического режима воды второго контура реактора с водой под давлением, Ред.4» (BBЭР Secondary Water Chemistry Guidelines – Revision 4, 1996. Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA. EPRI TR-102134-R4.
- [2] Nordmann, F., Dijoux, M., Stutzmann, A., журнал *PowerPlant Chemistry* 2001, 3(4), 209.
- [3] «Руководящие документы VGB по котловой питательной воде, котловой воде и пару для парогенераторов с допустимым рабочим давлением свыше 68 бар» (VGB Guideline for Boiler Feedwater, Boiler Water and Steam of Steam Generators with a Permissible Operating Pressure of >68 bar), 1988. VGB Technische Vereinigung der Grosskraftwerksbetreiber e. V., Essen, VGB-R 450 L e.
- [4] «Временные согласованные руководящие документы по организации водно-химического режима на электростанции на ископаемом топливе» (Interim Consensus Guidelines on Fossil Plant Cycle Chemistry), 1986. Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA. EPRI CS-4629.
- [5] «Руководящие документы по организации водно-химического режима на электростанции на ископаемом топливе: кислородный водно-химический режим» (Cycle Chemistry Guidelines for Fossil Plants: Oxygenated Treatment), 1994. Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA. EPRI TR-102285.
- [6] «Руководящие документы по организации водно-химического режима на электростанции на ископаемом топливе: фосфатный водно-химический режим для установок с барабанным котлом» (Cycle Chemistry Guidelines for Fossil Plants: Phosphate Treatment for Drum Units), 1994. Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA. EPRI TR-103655.
- [7] «Руководящие документы по организации водно-химического режима на электростанции на ископаемом топливе: гидразин-аммиачный водно-химический режим» (Cycle Chemistry Guidelines for Fossil Plants: All-Volatile Treatment), 1996. Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA. EPRI TR-105041.
- [8] Записки конференции VGB «Органические химреагенты для обработки рабочей среды и химического обескислороживания» (Proc., VGB Conference "Organic Cycle Chemistry Treatment Chemicals and Oxygen Scavengers," 1996. VGB Kraftwerkstechnik GmbH, Essen, Germany, VGB- TB 450.
- [9] Bursik, A., 1996, по ссылке [8], V1.
- [10] Kelm, W., Записки семинара журнала *PowerPlant Chemistry* «Водоподготовка

- питательной и котловой воды в установках промышленной генерации, когенерации и сжигания мусора, а также в установках с котлом-утилизатором» (*Proc., Power Plant Chemistry Seminar "Feed-water and Boiler Water Treatment in Industrial, Co-Generation, and Refuse Incineration Plants and in Units with Heat Recovery Steam Generators"*), 2000. Power Plant Chemistry GmbH, Neulussheim, Germany.
- [11] Kelm, W., Kranz, H.-D., Vrhel, D., журнал *PowerPlant Chemistry*, 2000, 2(10), 604.
- [12] Schontag, W., *Proc., Семинар журнала PowerPlant Chemistry «Водоподготовка питательной и котловой воды в установках промышленной генерации, когенерации и сжигания мусора, а также в установках с котлом-утилизатором» (PowerPlant Chemistry Seminar "Feedwater and Boiler Water Treatment in Industrial, Co-Generation, and Refuse Incineration Plants and in Units with Heat Recovery Steam Generators")*, 2000. PowerPlant Chemistry GmbH, Neulussheim, Germany.
- [13] Bohnsack, G., *Proc., VGB-Fachtagung "Industrie-, Heiz- kraftwerke und BHKW 1996,"* 1996. VGB Technische Vereinigung der Grosskraftwerksbetreiber e.V. • Essen.
- [14] Roothoof, R., De Caluwe, R., Bohnsack, G., *Записки V Международной конференции по водно-химическому режиму электростанций на ископаемом топливе (Proc., Fifth International Conference on Fossil Plant Cycle Chemistry)*, 1997. Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA. EPRI TR-108459, 4-11.
- [15] Tavast, J., *Семинар журнала PowerPlant Chemistry «Парогазовые установки и котлы-утилизаторы: разработка, повреждения труб котла, водно-химический режим и мониторинг» (PowerPlant Chemistry Seminar "Combined Cycles and Heat Recovery Steam Generators – Development, Boiler Tube Failures, Chemistry, and Monitoring")*, 2002, выступление во время обсуждения. PowerPlant Chemistry GmbH, Neulussheim, Germany.
- [16] Svoboda, R., Bodmer, M., Sandmann, H., журнал *PowerPlant Chemistry*, 2000, 2(9), 530.
- [17] Savelkoul, J., Janssen, P., Verhoeff, H., журнал *PowerPlant Chemistry*, 2001, 3(6), 326.
- [18] Bodmer, M., Svoboda, R., «Методы и устройства для определения коррозии в паротурбинных установках» (*Method and Apparatus for Detecting Corrosion in Steam Turbine Installations*). Патент США 4,283,200.
- [19] Svoboda, R., Sandmann, H., Romanelli, S., Bodmer, M., *Записки V Международной конференции по проблемам водно-химического режима для ядерных реакторных установок» (Proc., 5th International Conference on Water Chemistry of Nuclear Reactor Systems)*, 1989. British Nuclear Energy Society, London, UK.
- [20] Svoboda, R., Sandmann, H., Romanelli, S., Bodmer, M., «Взаимодействие материалов на основе железа с водой и паром» (*Interaction of Iron-Based Materials with Water and Steam*) (Ed.: Dooley, B. and Bursik, A.), 1993. Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA. EPRI TR- 102101, 32-1- 32-16.
- [21] Svoboda, R., Sandmann, H., Romanelli, S., Bodmer, M., «Физическая химия водных систем», *Записки XII Международной конференции по свойствам воды и пара (Physical Chemistry of Aqueous Systems, Proc., 12th International Conference on the Properties of Water and Steam, 1994* (Ed. White, Jr., H. J., Sengers, J. V., Neumann, D. B., and Bellows, J. C.), 1995. Begell House, New York, NY, 720-729.
- [22] Stodola, J. и Svoboda, R., *Международная конференция «Химия пара. Взаимодействие химических веществ с водой, паром и конструкционными материалами при испарении, перегреве и конденсации» (International Conference, Steam Chemistry - Interaction of Chemical Species with Water, Steam, and Materials during Evaporation, Superheating, and Condensation)*, 1999. Доклад № 8.
- [23] Svoboda, R., Bodmer, M., Sandmann, H., *Семинар журнала PowerPlant Chemistry «Водоподготовка питательной и котловой воды в установках промышленной генерации, когенерации и сжигания мусора, а также в установках с котлом-утилизатором» (PowerPlant Chemistry Seminar "Feedwater and Boiler Water Treatment in Industrial, Co-Generation, and Refuse Incineration Plants and in Units with Heat Recovery Steam Generators)*, 2000. PowerPlant Chemistry GmbH, Neulussheim, Germany.
- [24] Vasilenko, G. V., Sutotsky, G. P., «Взаимодействие материалов на основе железа с водой и паром» (*Interaction of Iron-Based Materials with Water and Steam*) (Ed. Dooley, B. и Bursik, A.), 1993. Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA. EPRI TR-102101, 35-1 - 35-19.
- [25] Petrova, T. I., Povarov, O. A., Rigenkov, V. A., Petrov, Yu., Rossikhin, I. Ya., Polevoi, E. N., «Вестник МЭИ» (*Vestnik MEI*) 1995, No. 3, 61.
- [26] Dooley, R. B., Feldberg, L. A., Kashinsky, V. I., Martynova, O. I., Petrov, A. Yu., Petrova, T. I., Popov S. A., Povarov, O. A., Semenov, V. N., Troitsky, A. N., «Пар турбины, водно-химический режим и коррозия: испытания на экспериментальной турбине» (*Turbine Steam, Chemistry and Corrosion: Experimental Turbine Tests*), 1997. Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA. EPRI TR-108185.
- [27] Petrova, T. I., Povarov, O.A., Semenov, V. N., Kashinsky, V. I., и Petrov, A. Yu., журнал *PowerPlant Chemistry*, 2000, 2(5), 280.

- [28] Povarov, O. A., Semenov, V. N., Troitsky, A. N., Dooley, R. B., журнал *PowerPlant Chemistry*, **2000**, 2(4), 204.
- [29] Povarov, O.A., Petrova, T. I., Semenov, V. N., Kashinsky, V. I., Troitsky, A. N., Petrov, A. Yu., и Dooley, R. B., VI Международная конференция по водно-химическому режиму электростанций» (*6th International Conference on Cycle Chemistry*), **2000**, Columbus, OH.
- [30] Dooley, R. B. и Hubbard, D. E., журнал *PowerPlant Chemistry*, **2000**, 2(7). 389.
- [31] Dooley, B. и McNaughton, W. P., журнал *PowerPlant Chemistry*, **2000**, 2(12), 709.
- [32] Petrova, T. I., Petrov, A Yu., Zhgenti, J. V., и Dooley, B., журнал *PowerPlant Chemistry*, **2001**, 3(3), 143.
- [33] Savelkoul, J., Janssen, P., «Симпозиум по воде» (*Watersymposium '99*), **1999**. Technology Centre Corrosion, Bilthoven, Нидерланды.
- [34] Quadri, R., Magnani, G., *Записки семинара по применению аминов в водоподготовке паровых и водяных контуров, 1990 г.*» (*Proc., 1990 Workshop on Use of Amines in Conditioning Steam/Water Circuits*), опубликовано в **1991**. Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA.
- [35] Stodola, J., Svoboda, R., «Паровые, водяные и гидротермические системы», *Записки XIII Международной конференции по свойствам воды и пара (Steam, Water, and Hydrothermal Systems, Proc. 13th International Conference on the Properties of Water and Steam)*, **1999** (Ed.:

P. R. Tremaine, P. G. Hill, O. E. Irish, P. V. Balakrishnan), опубликовано в 2000, 891.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Автор выражает благодарность персоналу электростанции SWM в Южном Мюнхене, в особенности Вольфгангу Шентагу – за помощь, а также доктору Герхарду Мору и Йоргу Штрохэкеру из компании Allianz Zentrum für Technik GmbH – за любезное сотрудничество и аналитическую поддержку.

АВТОР

Ладислав Бурсик (Ladislav Bursik, бакалавр наук, Университет Тюбинген, Германия), Президент компании ВНТ GmbH с 1988 г. Компания ВНТ GmbH (г.Кустердинген, Германия) специализируется на связанных с химией услугах для электростанций.

КОНТАКТЫ

Ladislav Bursik
ВНТ Gesellschaft für Verfahrenstechnik mbH
Käppele 15
72127 Kusterdingen-Wankheim
Germany

Электронная почта: 0707138313@t-online.de