

ВОДОПОДГОТОВКА

Сравнение эффективности защиты стали от коррозии и солеотложений различными ингибиторами

К.х.н. Ф.Ф. Чаусов, заведующий ИХЛ, Удмуртский государственный университет, г. Ижевск

Введение

Проблема защиты технологического оборудования от солеотложений и внутренней коррозии неизменно остается актуальной в теплотехнике. Одним из самых эффективных подходов к ее решению, рекомендованным целым рядом нормативных документов [1-4], является применение ингибиторов солеотложений и коррозии.

Наиболее эффективными ингибиторами солеотложений и коррозии являются комплексы органофосфоновых кислот с переходными металлами, из числа которых наибольшее практическое применение получили комплексы оксиэтилидендифосфоновой (ОЭДФ) $\text{CH}_3\text{C}(\text{OH})(\text{PO}_3\text{H}_2)_2$ и нитрилотриметилфосфоновой (НТФ) $\text{N}(\text{CH}_2\text{PO}_3\text{H}_2)_3$ кислот с цинком, устойчивые в виде натриевых или калийных солей [5-7]. Современными научными исследованиями [8-11] с исчерпывающей полнотой установлен механизм действия этих ингибиторов. Высокая эффективность фосфонатоцинкатных ингибиторов коррозии отмечена специалистами ИФХ РАН [12-14] и подтверждена на практике специалистами ВТИ [15].

Вместе с тем приходится отметить, что применение фосфонатоцинкатных ингибиторов солеотложений и коррозии в настоящее время далеко еще не достигло той степени распространения, которой следовало бы ожидать, принимая во внимание несомненные достоинства этой технологии. Причины этого – медленное распространение положительного опыта внедрения ингибиторов солеотложений и коррозии, а также отсутствие объективной информации об их эффективности. Все это вызывает у практиков скептическое отношение к методу обработки воды, который по своей сути и при правильном осуществлении является наиболее выгодным и эффективным способом водоподготовки для большинства котельных.

Различные производители используют различную сырьевую базу и различные технологические процессы получения ингибиторов. Поэтому препараты различных производителей неизбежно отличаются друг от друга формой выпуска (водный раствор или порошок), химическим составом и, следовательно, эксплуатационными качествами. При этом потребителю практически невозможно получить объективную

информацию об эффективности того или иного препарата в конкретных условиях применения. Причина этого не только в том, что предприятия-производители больше заинтересованы в распространении информации рекламного характера, чем в публикации количественных критериев эффективности. Приходится констатировать, что получение достоверных сведений об эффективности ингибиторов солеотложений и коррозии в тех или иных условиях требует проведения весьма трудоемких исследований. Нормативная документация различных предприятий-производителей предусматривает, как правило, условия проведения испытаний, далекие от практических условий эксплуатации теплотехнического оборудования. Кроме того, условия испытаний ингибиторов на различных предприятиях не совпадают между собой. В результате часто, несмотря на заявленную (и подтвержденную по техническим условиям предприятия-производителя) эффективность ингибирования солеотложений не менее 90%, на практике в конкретных условиях эксплуатации этот показатель для того же ингибитора может оказаться значительно меньше. Из-за этого у потребителя может сложиться отрицательное мнение об эффективности самой технологии обработки воды ингибиторами солеотложений и коррозии.

Испытанные ингибиторы

Целью настоящей работы было получить достоверные сведения об эффективности пяти фосфонатоцинкатных ингибиторов коррозии и солеотложений, выпускаемых различными предприятиями, путем сравнительных испытаний этих препаратов в идентичных условиях при контроле воспроизводимости экспериментальных данных.

В табл. 1 сведены основные нормативные показатели качества выпускаемых в РФ фосфонатоцинкатных ингибиторов. Для сравнения, в табл. 1 приведены также свойства химически индивидуальных комплексов ОЭДФ и НТФ с цинком. Можно видеть, что по своему стехиометрическому составу наиболее близки к химически индивидуальным веществам препараты «ОПТИОН-313-2» и «ЭКТОСКЕЙЛ-450-2», выпускаемые

Таблица 1. Основные показатели качества цинкофосфонатных ингибиторов солеотложений и коррозии.

Наименование (торговая марка)	Производитель	Внешний вид	Содержание основного вещества, %	Содержание цинка в препарате, %	Содержание цинка в основном веществе, %	pH	Плотность, кг/м ³	ПДК в питьевой воде, мг/дм ³
«ОПТИОН-313-1»	ООО «Экоэнерго», г. Ростов-на-Дону	бесцветная или желто-коричневая жидкость	24,3-25,7	4,7-5,3	19,3-20,6	7-10	1200-1300	20
«ОПТИОН-313-2»	то же	порошок светлого серого цвета с бежевым оттенком, с водой образует бесцветный раствор	92-97	–	–	–	–	20
«ЭКТОСКЕЙЛ-450-1»	то же	бесцветная жидкость или жидкость со светло-желто-зеленым оттенком	19,5-20,5	2,7-3	13,8-14,6	6,8-7,5	1170-1200	5
«ЭКТОСКЕЙЛ-450-2»	то же	порошок светлого серого цвета с бежевым оттенком, с водой образует бесцветный раствор	92-97	–	–	–	–	5
Zn-ОЭДФ	ООО НПФ «Траверс», г. Москва	бесцветная или желтая жидкость	22-25	3,5-4,5	15,9-18	6-8	1200-1300	5
«АФОН 230-23А»	ОАО «Химпром», г. Новочебоксарск	однородная жидкость от бесцветного до желто-зеленого цвета; допускается наличие мути	20-25	3,5-4,5	17,5-18	7-9	1100-1300	4
Zn-ОЭДФ	ВОАО «Химпром», г. Волгоград	жидкость от желтого до коричневого цвета; допускается наличие осадка	не менее 5*	–	–	8-10	1200	5
Химически индивидуальный оксиэтилендифосфонатоцинкат натрия	–	белый порошок, с водой образует бесцветный раствор	–	–	20,8	–	–	–
Химически индивидуальный нитрилотриметиленфосфонатоцинкат натрия	–	белый порошок, с водой образует бесцветный раствор	–	–	14,2	–	–	–

* – массовая доля фосфора.

в виде порошков ООО «Экоэнерго» (г. Ростов-на-Дону). Испытание указанных препаратов представляло наибольший интерес, т.к. позволяло оценить ингибирующие свойства практически индивидуальных комплексов, свободных от примесей. Все остальные препараты, взятые для испытаний, представляли собой водные растворы. Образец препарата Zn-ОЭДФ, выпускаемого ООО НПФ «Траверс», имеет вид прозрачной жидкости желтоватого цвета без запаха, сладко-соленой на вкус, без какой-либо мути или осадка. Цинковый комплекс ОЭДФ производства ВОАО «Химпром» (г. Волгоград) – слегка мутноватая жидкость зеленовато-желтого

цвета со слабым запахом, солоноватого вкуса. При фильтровании препарата на фильтре осталось незначительное количество желтоватого осадка. Препарат АФОН 230-23А производства ОАО «Химпром» (г. Новочебоксарск) имеет вид мутной жидкости желто-зеленого цвета со слабым запахом, сладкой на вкус. При отборе пробы отмечено наличие на дне заводской упаковки слоя осадка белого цвета толщиной около 1 см, что может свидетельствовать о частичном разложении продукта во время транспортирования и хранения. При фильтровании образца на фильтре остался обильный желтовато-белый хлопьевидный осадок.

Таблица 2. Составы и свойства модельных растворов для испытания ингибиторов.

№ раствора	Массовая концентрация компонентов, мг/дм ³					Показатели качества				
	NaCl	MgSO ₄	Na ₂ SO ₄	NaHCO ₃	CaCl ₂	Жесткость, мг-экв/дм ³			Хлориды, мг/дм ³	Сульфаты, мг/дм ³
						Общая	Ca	Mg		
1	243	25	192	8	5	0,5	0,09	0,41	150	150
2	914	250	1924	361	237	9,2	4,3	4,9	1500	706

Таблица 3. Условия проведения испытаний.

Температурные режимы, °С	Концентрации ингибиторов, мг/дм ³	
	раствор № 1	раствор № 2
75	0 (холостой опыт)	0 (холостой опыт)
	3	3
	ПДК	ПДК
150	0 (холостой опыт)	0 (холостой опыт)
	3	10
	ПДК	20

Условия испытаний

Испытания проводились в лабораторных условиях, максимально приближенных к условиям функционирования реальных систем теплоснабжения. Для проведения испытаний в стан-

дартных условиях были приготовлены два раствора, моделирующие различные распространенные типы природных вод. Составы растворов в соответствии с ГОСТ 9.502-82 приведены в табл. 2. Раствор № 1 моделирует мягкую умеренно коррозионную воду поверхностных источников, а раствор № 2 – жесткую коррозионную артезианскую воду.

Опыты проводили при различных концентрациях каждого из ингибиторов и при различных температурах в каждом из двух модельных растворов (табл. 3). В испытаниях при температуре 75 °С моделировали поведение ингибиторов в системах горячего водоснабжения. В связи с этим были выбраны два значения концентрации: равное предельно допустимой концентрации (ПДК) данного ингибитора в питьевой воде и 3 мг/дм³, приблизительно равное половине ПДК для большинства ингибиторов. В испытаниях при 150 °С моделировали режимы систем теплоснабжения. Поэтому для проведения опытов при температуре 150 °С в модельном растворе № 2 была выбрана иная шкала концентраций ингибиторов, нежели в остальных экспериментах. Это объясняется тем, что данный температурный и концентрационный режим характерен для закрытых тепловых сетей с подпиткой жесткой водой из артезианских источников. Для таких тепловых сетей значение ПДК ингибитора не имеет существенного значения, кроме того, дозировка ингибитора в воду с высокой жесткостью при высокой температуре должна быть значительно больше, чем в иных условиях, чтобы можно было достоверно наблюдать и количественно регистрировать эффект ингибирования.

Для проведения коррозионных испытаний в водных средах при повышенных температурах, в условиях, максимально приближенных к условиям работы тепловых сетей, разработана кон-

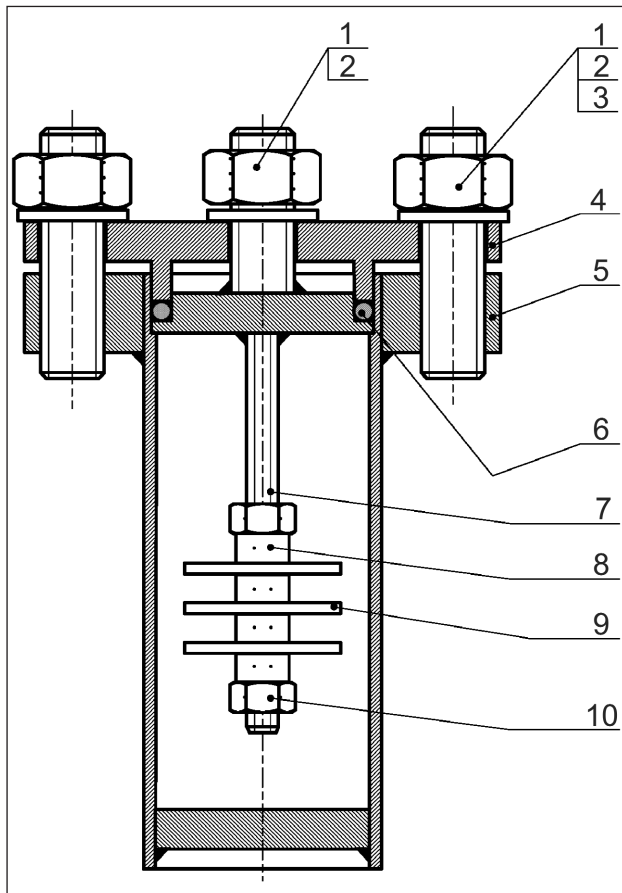


Рис. 1. Схема автоклавной ячейки для проведения высокотемпературных коррозионных испытаний:

- 1 – гайка M16; 2 – шайба 16; 3 – шпилька M16×60;
- 4 – крышка; 5 – корпус; 6 – уплотнительное кольцо;
- 7 – обтюрационная вставка; 8 – дистантор; 9 – испытуемый образец; 10 – гайка M8.

струкция герметизированной высокотемпературной коррозионной автоклавной ячейки, способной длительно выдерживать внутреннее давление без утечки исследуемой среды. Конструкция автоклавной ячейки схематически показана на рис. 1. За основу при конструировании автоклавной ячейки принята конструкция испытательных сборок для оценки интенсивности внутренней коррозии в тепловых сетях по РД 153-34.1-17.465-00 [16], однако для повышения герметичности ячейки и предотвращения утечки среды в процессе испытаний при конструировании применена обтюраторная схема уплотнения ячейки. Внешний вид автоклавной ячейки показан на рис. 2.

Для коррозионных испытаний были изготовлены образцы из горячекатаной листовой стали марки ВСт.Зсп с контролем химического состава по ГОСТ 380-94, ГОСТ 19903-74. Образцы – стальные круглые пластины толщиной 2-3 мм, наружным диаметром 40 мм с отверстием в центре диска 12 мм – подготовили в соответствии с ГОСТ 9.502-82, ГОСТ 9.506-87. После механической обработки образцы металла обезжирили, промывая этиловым спиртом при помощи щетки, и просушили от спирта. Поверхность образцов подвергли активации путем травления в 15% соляной кислоте в течение 1 мин. Активированные образцы трижды промыли дистиллированной водой, осушили фильтровальной бумагой, подвергли сушке при температуре 100 ± 5 °С в течение 1 ч и охладили в эксикаторе над прокаленным хлористым кальцием. Каждый образец взвешивали на аналитических весах с точностью до 0,0001 г, фиксируя его массу в лабораторном журнале. Взвешивание образцов повторяли ежедневно до достижения постоянной массы образца m_1 .

Подготовленные образцы закрепляли на штоке-держателе автоклавной ячейки в количестве 3-х штук. Для изолирования образцов от штока последний снабжали изолирующей оболочкой из кремнийорганического термостойкого каучука, а для изолирования образцов друг от друга и обеспечения беспрепятственного контакта со средой на шток между образцами и зажимными гайками надевали 10-миллиметровые шайбы-дистанторы из того же материала. Собранный пакет погружали в ячейку, предварительно заполненную избранным для испытаний модельным раствором, в который при помощи пипетки вводили заданное количество ингибитора, после чего ячейку герметически закрывали. Закрытую автоклавную ячейку с помещенными в нее образцами и раствором выдерживали в термостате в течение 10 суток при заданной температуре с погрешностью не более ± 5 °С. Испытания проводились в статических условиях, без принудительной циркуляции коррозионной сре-



Рис. 2. Автоклавная ячейка для проведения коррозионных испытаний при повышенных температурах:
а – в разобранном виде (на штоке-держателе видна изолирующая оболочка и изолирующий дистантор);
б – в собранном виде, подготовленная к установке в термостат.

ды. После выдержки в течение 10 суток автоклавную ячейку извлекали из термостата и охлаждали до комнатной температуры. Рыхлые коррозионно-солевые отложения, слабо связанные с поверхностью образцов, снимали шпателем и переносили в бюксу для высушивания и исследования. Образцы слегка ополаскивали дистиллированной водой, сушили при температуре 100 ± 5 °С в течение 1 ч и помещали для охлаждения в эксикатор с предварительно прокаленным хлористым кальцием. Каждый образец взвешивали на аналитических весах с точностью до 0,0001 г до постоянной массы m_2 .

Таблица 4. Степень защиты от коррозии (%) для пяти различных ингибиторов при различных концентрациях и температурах.

Наименование ингибитора	Степень защиты стали 3 от коррозии, %								Характер коррозионного повреждения, площадь язв, количество язв на 1 см ²
	в модельном растворе № 1				в модельном растворе № 2				
	температура 75 °С		температура 150 °С		температура 75 °С		температура 150 °С		
	3 мг/л	ПДК	3 мг/л	ПДК	3 мг/л	ПДК	10 мг/л	20 мг/л	
«ОПТИОН-313-2»	82±5	96,2±3,5	83,4±3	88,7±4	82,2±5	92±4,5	80,7±5,5	93,2±3	равномерный
«ЭКТОСКЕЙЛ-450-2»	83,1±5,3	92±3	80,8±3,5	91±0,5	85,3±4,5	91,5±2,5	82±3	90,8±1,5	равномерный
Zn-ОЭДФ («Траверс»)	77,2±5,5	76±4,7	71,3±5	73,2±3,3	76,9±2,5	83,3±5	75,1±5	87,6±4	равномерный
«АФОН 230-23А»	46±3,5	52,7±8	41,2±2	40±15	43,2±8	53±7,5	46±5,5	48,3±10	язвенный, 1-4 мм ² , 1-6 язв/см ²
Zn-ОЭДФ (ВОАО «Химпром»)	50,3±5	56,4±5	52,4±5,5	53,8±8	52,4±6	63±4,5	58,4±5	64,2±6,5	язвенный, 1-4 мм ² , 1-6 язв/см ²

После этого приступали к удалению отложений. Продукты коррозии счищали с поверхности образцов деревянным или фарфоровым шпателем, а при сильном сцеплении – скальпелем. Образцы выдерживали в течение 10 мин при комнатной температуре в растворе, содержащем серную и лимонную кислоту, а также тиомочевину. Затем образцы промывали водой, одновременно очищая их поверхности мягкой резинкой до полного удаления коррозионных отложений. Очищенные образцы промывали дистиллированной водой, сушили фильтровальной бумагой, обезжиривали ватным тампоном, смоченным в спирте, сушили при 105 °С в течение 1 ч, после чего охлаждали до комнатной температуры в эксикаторе над прокаленным хлористым кальцием. Каждый образец взвешивали на аналитических весах с точностью до 0,0001 г, до постоянной массы m_3 .

Критериями, по которым сравнивали эффективность различных ингибиторов, являются.

1. Размеры очагов коррозии и их количество на единицу площади.

2. Степень защиты от коррозии $Z_{кор}$, которую вычисляли по формуле:

$$Z_{кор} = [(V_{кор}^* - V_{кор}) / V_{кор}^*] \cdot 100, \%$$

где $V_{кор}^*$ – средняя скорость коррозии в ячейке с коррозионной средой без добавки ингибитора (в холостом опыте), мм/год; $V_{кор}$ – средняя скорость коррозии в ячейке с коррозионной средой с добавкой ингибитора, мм/год; среднюю скорость коррозии образцов в автоклавной ячейке $V_{кор}$ рассчитывают как среднее арифметическое значений скорости коррозии каждого образца $V_{кор i}$:

$$V_{кор} = 87600 \cdot (m_1 - m_3) / (S \cdot t \cdot 7,85),$$

где S – площадь поверхности образца, контактирующей с теплоносителем, см²; t – время испытаний, ч.

3. Степень защиты от солеотложений $Z_{со}$, которую определяли по формуле:

$$Z_{со} = [(I^* - I) / I^*] \cdot 100, \%$$

где I^* – относительная нестабильность водной среды без добавки ингибитора (в холостом

опыте); I – относительная нестабильность водной среды с добавкой ингибитора.

Относительную нестабильность водной среды определяли по формуле:

$$I = (J_{Ca, 0} - J_{Ca}) / J_{Ca, 0},$$

где $J_{Ca, 0}$ – кальциевая жесткость модельного раствора, определяемая по данной методике перед началом эксперимента, мг-экв/дм³; J_{Ca} – кальциевая жесткость водной среды в ячейке по завершении коррозионного испытания, мг-экв/дм³. Кальциевую жесткость раствора определяли по стандартной методике ПермНИПИнефти, основанной на осаждении мешающих примесей перманганатом калия и аммиаком с последующим определением кальция титрованием Трилоном Б в присутствии индикатора – мурексида.

Результаты испытаний

Результаты экспериментов по определению степени защиты от коррозии в двух модельных растворах при всех условиях, приведенных в табл. 3, для пяти исследованных ингибиторов, приведены в табл. 4, а результаты экспериментов по определению степени защиты от солеотложений в тех же условиях – в табл. 5.

Причина различной эффективности ингибиторов была в значительной степени выявлена при исследовании образцов методом сканирующей электронной микроскопии с микрозондовым анализом. На корродированной поверхности металла наблюдаются обычные для развития коррозии в нейтральных средах повреждения металла, имеющие вид пирамид травления. Частицы цинка, принадлежащие ингибитору, распределены по поверхности и наблюдаются при микрозондовом анализе. На поверхности образцов, подвергнутых испытаниям с ингибиторами «Zn-ОЭДФ» производства ООО НПФ «Траверс» (г. Москва), а также «ОПТИОН-313-2» и «ЭКТОСКЕЙЛ-450-2», частицы цинка распределены в основном равномерно, при этом они тяготеют к вершинам и ребрам пирамид травления. Таким образом, можно утверждать,

Таблица 5. Степень защиты от солеотложений (%) для пяти различных ингибиторов при различных концентрациях и температурах.

Наименование ингибитора	Степень защиты от солеотложений, %							
	в модельном растворе № 1				в модельном растворе № 2			
	температура 75 °С		температура 150 °С		температура 75 °С		температура 150 °С	
	3 мг/л	ПДК	3 мг/л	ПДК	3 мг/л	ПДК	10 мг/л	20 мг/л
«ОПТИОН-313 2»	95±4	98±2	98,5±1,5	99±1	87,2±5	94±3	95,5±4	98±2
«ЭКТОСКЕЙЛ-450-2»	98±2	98±2	98±2	99±1	93±5	95±5	92,2±4,5	96,5±5,5
Zn-ОЭДФ («Траверс»)	94,9±3,5	94±4,5	92,1±6,7	93±5	85,3±7,5	84,1±2,5	82,8±3	85,3±5,5
«АФОН 230-23А»	76,8±8,5	75,2±6,5	75,5±8,3	72,2±2,7	63,1±10	68±3	37,2±5	55±8
Zn-ОЭДФ (ВОАО «Химпром»)	81,6±4	82,8±2	74,2±5,5	72,9±2	74,2±2,5	72,9±2,5	72,8±4	80,2±7

что осаждение защитной пленки поверхностных цинксодержащих комплексов в присутствии указанных ингибиторов происходит под влиянием протекающих коррозионных процессов и пространственно коррелирует с интенсивностью коррозии, что и предопределяет более высокую эффективность указанных ингибиторов. При исследовании образцов, подвергавшихся коррозии в присутствии ингибиторов «АФОН 230-23А» и «Zn-ОЭДФ» производства ВОАО «Химпром» (г. Волгоград) на поверхности обнаружены отдельные островки размером от нескольких микрометров до нескольких сотен микрометров, обогащенные цинком, при этом на остальной части поверхности образцов цинк практически не наблюдается. Скорее всего, это свидетельствует о неконтролируемом выпадении осадка цинксодержащих соединений вследствие химической нестойкости и распада ингибитора, что подтверждается и наличием осадка в указанных товарных препаратах. Вследствие этого значительная часть поверхности образца оказывается незащищенной от коррозии.

Выводы

В условиях данных испытаний наибольшей эффективностью ингибирования солеотложений и коррозии обладают ингибиторы «ОПТИОН-313-2» и «ЭКТОСКЕЙЛ-450-2». К ним близок по эффективности препарат «Zn-ОЭДФ» производства ООО НПФ «Траверс» (г. Москва). Ингибитор «АФОН 230-23А» в изученных условиях обладает недостаточно высокой эффективностью ингибирования солеотложений и низкой степенью защиты от коррозии. Скорее всего, это объясняется нестойкостью ингибитора при его транспортировании и хранении, вследствие чего из ингибитора выпадает осадок. Поэтому образцы препарата «АФОН 230-23А», отобранные непосредственно на выходе из производства ОАО «Химпром», могут показать в испытаниях более высокие ингибирующие свойства. Ингибитор «Zn-ОЭДФ» производства ВОАО «Химпром» (г. Волгоград) обладает средними показателями эффективности.

Литература

1. СНиП 41-02-2003. Тепловые сети. М.: ФГУП ЦПП, 2005. 38 с.
2. СП 41-104-2000. Проектирование автономных источников теплоснабжения. М.: ГУП ЦПП, 2000. 16 с.
3. МУ 1-321-03. Методические указания по коррекционной обработке питательной воды паровых котлов, подпиточной воды систем теплоснабжения, водогрейных котлов комплексонатами ОЭДФ-Zn, НТФ-Zn. Ростов-на-Дону: 2003, 20 с.
4. МУ 1-322-03. Методические указания по стабилизационной обработке воды систем теплоснабжения, водогрейных котлов комплексонатами ОЭДФ-Zn, НТФ-Zn. Ростов-на-Дону: 2003, 18 с.
5. Ковальчук А.П., Иванова Н.А. Состав для ингибирования солеотложений и коррозии. Патент РФ № 2115631, МПК C02F 5/14, 1998.
6. Ковальчук А.П. Состав для ингибирования солеотложений и коррозии и способ его получения. Патент РФ № 2205157, МПК C02F 5/14, 2003.
7. Чаусов Ф.Ф. Способ ингибирования солеотложений. Патент РФ № 2304084, МПК C 02 F 5/14, 2005.
8. Чаусов Ф.Ф. Ингибирование роста кристаллов солей щелочноземельных металлов в водных растворах. Теория и технические приложения. Автореф. дисс. ... канд. хим. наук. Нижний Новгород: ННТУ, 2005. 28 с.
9. Журавлев В.А., Чаусов Ф.Ф., Савинский С.С. Конкурентный рост кристаллической и аморфной фаз в водных растворах карбоната и нитрилотриметилфосфоната кальция // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2006. № 5. С. 92-99.
10. Чаусов Ф.Ф. Модель влияния адсорбируемых примесей на рост кристаллов малорастворимых солей из слабо пересыщенных растворов // Теоретические основы химической технологии. Т. 42 (2008). № 2. С. 189-197.
11. Чаусов Ф.Ф. Новый эффективный способ защиты теплопередающего оборудования от солеотложений // Тяжелое машиностроение. 2007. № 9. С. 5-8.
12. Кузнецов Ю.И. // Защита металлов. 1984. Т. 20. № 3. С. 359-372.
13. Кузнецов Ю.И., Исаев В.А., Старобинская И.В., Бардашева Т.И. // Защита металлов. 1990. Т. 26. № 6. С. 965-969.
14. Кузнецов Ю.И., Исаев В.А., Трунов Е.А. // Защита металлов. 1990. Т. 26. № 5. С. 798-804.
15. Балабан-Ирменин Ю.В., Липовских В.М., Рубашов А.М. Защита от внутренней коррозии трубопроводов водяных тепловых сетей. М.: Энергоатомиздат, 1999. 248 с.
16. Балабан-Ирменин Ю.В., Рубашов А.М. Методические указания по оценке интенсивности процессов внутренней коррозии в тепловых сетях. РД 153-34.1-17.465-00. М.: АОТ «Всероссийский дважды ордена Трудового Красного Знамени теплотехнический научно-исследовательский институт», 2000.
17. Потапов С.А., Дрикер Б.Н., Цирульникова Н.В. О применении цинкового комплекса ОЭДФ в системах теплоснабжения и горячего водоснабжения // Энергосбережение и водоподготовка. 2004. № 3. С. 57-60.