



СБОРНИК ДОКЛАДОВ

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ВОДОПОДГОТОВКИ
И ЗАЩИТЫ ОБОРУДОВАНИЯ ОТ КОРРОЗИИ
И НАКИПЕОБРАЗОВАНИЯ



XI Научно-практическая конференция

**21 октября
2025 года**

г. Москва, ТГК «Вега»,
гостиница «Измайловская»,
конференц-зал «Технология»

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПАРТНЕРЫ КОНФЕРЕНЦИИ



Журнал
«Новости теплоснабжения»



Некоммерческая организация
«Российский союз химиков»



Портал «РосТепло»
www.rosteplo.ru



- Журнал «Вести в электроэнергетике»
- Журнал «Водоснабжение и санитарная техника» (ВСТ)
- Журнал «Коммунальный комплекс России»
- Журнал «Новости теплоснабжения» (Ростепло)
- Журнал «Промышленная энергетика»
- Журнал «Промышленные регионы России»
- Журнал «Химическая техника»
- Журнал «ЭкспоВижнРус»
- Журнал «Электрические станции»
- Журнал «Энергетик»
- Журнал «Энергобезопасность и энергосбережение»

**Ассоциация «РОСХИМРЕАКТИВ»,
ООО «НПФ «ТРАВЕРС»,
АО «ЭКОС-1»**

**XI Научно-практическая конференция
«СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
ВОДОПОДГОТОВКИ И ЗАЩИТЫ
ОБОРУДОВАНИЯ ОТ КОРРОЗИИ
И НАКИПЕОБРАЗОВАНИЯ»**

ТГК «Вега», гостиница «Измайловская»,
конференц-зал «Технология»

СБОРНИК ДОКЛАДОВ

21 октября 2025 года
г. Москва

УДК 621.311.22,621.182.12
ББК 31.57

**XI НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ВОДОПОДГОТОВКИ
И ЗАЩИТЫ ОБОРУДОВАНИЯ ОТ КОРРОЗИИ
И НАКИПЕОБРАЗОВАНИЯ»**

В сборнике представлены доклады ведущих специалистов о современных технологиях водоподготовки, разработках реагентов и технологий их применения. Основу сборника составляют результаты опытно-промышленных испытаний на энергетических объектах с целью определения эффективности реагентов. Опубликованы данные теоретических и экспериментальных исследований механизма ингибирования солеотложений с применением современных методов физико-химического анализа.

Материалы сборника представляют интерес для широкого круга специалистов, работающих в области энергетики.

21 октября 2025 года
г. Москва, ТГК «Вега», гостиница «Измайловская»,
конференц-зал «Технология»

Организаторы: Ассоциация «РОСХИМРЕАКТИВ», ООО «НПФ «ТРАВЕРС»,
АО «ЭКОС-1».

При участии: Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ» (ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»),
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Московский Государственный строительный университет» (ФГБОУ ВПО «НИУ «МГСУ»), Российского Союза химиков, НП «Российское теплоснабжение».

УДК 621.311.22,621.182.12
ББК 31.57
ISBN 978-5-6053619-9-2

Настоящие материалы конференции созданы на основании информации, предоставленной участниками конференции.

Материалы докладов публикуются в авторской версии. Организаторы не несут ответственности за неточности и упущения в названиях и адресах, представленных в данном сборнике.

©ООО «НПФ «ТРАВЕРС», 2025 год,
107023, г. Москва, ул. Электrozаводская, д.24, стр. 3

СОДЕРЖАНИЕ

ПРОГРАММА КОНФЕРЕНЦИИ	4
Опыт комплексного внедрения реагентов АМИНАТ™ для организации водно-химического режима ПГУ-ТЭС	9
Решение проблем коррозии в системах горячего водоснабжения	21
Основные заблуждения в отношении механизмов зарождения неорганических солеотложений, механизмов действия ингибиторов этого процесса и способов замедления отложения солей	30
Особенности применения ингибиторов солеотложения в водооборотных системах на примере нового ингибитора АМЕТЕК АП-2	47
Результаты исследований защитных свойств консервирующих реагентов применительно к конструкционным материалам теплоэнергетического оборудования	57
Новые решения по созданию мембранных систем водоподготовки без применения реагентов.	69
Ионный обмен или обратный осмос: предпочтения для водоподготовки	73
Разработки кафедры промышленной экологии РХТУ им. Д.И. Менделеева для процессов водоочистки	91
Очистка сточных вод с высоким содержанием МЭА (моноэтаноламина)	99
Разработка и реализация интеллектуальной системы химического контроля и управления ВХР на ТЭС	107
Характеристики готовых решений для водно-химического контроля. Особенности применения технологий на основе портативного оборудования.	119



ПРОГРАММА КОНФЕРЕНЦИИ

XI Научно-практическая конференция
«СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ВОДОПОДГОТОВКИ
И ЗАЩИТЫ ОБОРУДОВАНИЯ ОТ КОРРОЗИИ
И НАКИПЕОБРАЗОВАНИЯ»

9.00-9.30	Регистрация участников конференции.
9.30-9.35	Открытие Конференции, приветственное слово Президента Ассоциации «РОСХИМРЕАКТИВ», исполнительного директора ООО «НПФ «Траверс» Антонова Владимира Васильевича, к.т.н.
9.35-9.45	Приветственное слово, доклад «Методическая деятельность в области водоснабжения и водоотведения. Стандарт организации РАВВ, проект ГОСТ Р по ИТ управлению системами водоподготовки и корректировка природоохранного нормирования» Председателя Экспертно-технологического совета Российской ассоциации водоснабжения и водоотведения, заместителя исполнительного директора по технологической политике РАВВ Самбургского Георгия Александровича, д.т.н.
9.45-10.05	Приветственное слово, доклад по теме актуальных проблем отрасли Президента Некоммерческого партнерства «Российское теплоснабжение» Семенова Виктора Германовича, к.э.н.
10.05-10.25	«Опыт комплексного внедрения реагентов АМИНАТ™ для организации водно-химического режима ПГУ-ТЭС» - докл. Прорехин Сергей Михайлович, и.о. начальника отдела водоподготовки ООО «НПФ «ТРАВЕРС», ГК«ЭКОС-1»; соавторы: Бутакова М.В., к.т.н., начальник отдела водоподготовки ООО «НПФ «ТРАВЕРС», ГК«ЭКОС-1», Сухов Г.Д., к.т.н., ведущий специалист ООО «НПФ «ТРАВЕРС», ГК«ЭКОС-1», Москва.
10.25-10.45	«Решение проблем коррозии в системах горячего водоснабжения» - докл. Тушева Мария Александровна, зам. начальника отдела водоподготовки ООО «НПФ ТРАВЕРС», ГК«ЭКОС-1»; соавтор: Прорехин С.М., и.о. начальника отдела водоподготовки ООО «НПФ «ТРАВЕРС», ГК«ЭКОС-1», Москва.

10.45-11.15	«Основные заблуждения в отношении механизмов зарождения неорганических солеотложений, механизмов действия ингибиторов этого процесса и способов замедления отложения солей» - докл. Попов Константин Иванович, д.х.н., профессор, заведующий отделом прикладных технологий АО Научный центр «Малотоннажная химия», ГК«ЭКОС-1»; соавторы: Трухина М.В., главный технолог, заведующий лабораторией инновационных технологий АО Научный центр «Малотоннажная химия», ГК«ЭКОС-1», Прорехин С.М., и.о. начальника отдела водоподготовки ООО «НПФ «ТРАВЕРС», ГК«ЭКОС-1», Бутакова М.В., к.т.н., начальник отдела водоподготовки ООО «НПФ «ТРАВЕРС», ГК«ЭКОС-1», Ощепков М.С., д.х.н., заведующий кафедрой химии и технологии биомедицинских препаратов РХТУ им. Д.И.Менделеева, Прирез Д.С., инженер-технолог, ООО «НПФ «ТРАВЕРС», ГК«ЭКОС-1», Гринюк О.А., руководитель направления водоподготовки ООО «НПФ «ТРАВЕРС», ГК«ЭКОС-1», Москва.
11.15-11.40	«Особенности применения ингибиторов солеотложения в водооборотных системах на примере нового ингибитора АМТЕК АП-2» - докл. Трухина Мария Васильевна, главный технолог, заведующий лабораторией инновационных технологий АО Научный центр «Малотоннажная химия», ГК«ЭКОС-1»; соавторы: Попов К.И., доктор химических наук, профессор, заведующий отделом прикладных технологий АО Научный центр «Малотоннажная химия», ГК«ЭКОС-1», Удовенко В.А., инженер отдела прикладных технологий АО Научный центр «Малотоннажная химия», ГК«ЭКОС-1», Кортенок Н.И., научный сотрудник отдела прикладных технологий, АО Научный центр «Малотоннажная химия», ГК«ЭКОС-1», Тушева М.А., зам. начальника отдела водоподготовки ООО «НПФ «ТРАВЕРС», ГК«ЭКОС-1», Прорехин С.М., и.о. начальника отдела водоподготовки ООО «НПФ «ТРАВЕРС», ГК«ЭКОС-1», Прирез Д.С., инженер-технолог, ООО «НПФ «ТРАВЕРС», ГК«ЭКОС-1», Ветютнева Е.В., менеджер ООО «НПФ «ТРАВЕРС», ГК«ЭКОС-1», Москва.
11.40-12.05	«Результаты исследований защитных свойств консервирующих реагентов применительно к конструкционным материалам теплоэнергетического оборудования» - докл. Егошина Ольга Вадимовна, к.т.н., доцент кафедры теоретических основ теплотехники ТОТ НИУ «МЭИ», соавторы: Большакова Н.А., к.т.н., доцент, старший преподаватель, инженер первой категории, Григорьев М.Д., аспирант ТОТ НИУ «МЭИ», Москва.

12.05-12.35	«Новые решения по созданию мембранных систем водоподготовки без применения реагентов. Посвящается памяти Галины Яковлевны Рудаковой» - докл. Первов Алексей Германович д.т.н., профессор кафедры водоснабжения и водоотведения, НИУ «МГСУ», соавторы: Тет Зо Аунг, к.т.н., Д.В. Спицов, Т.Н. Ширкова, А.С. Кулагина, М.И. Саид Ахмад, НИУ «МГСУ», Москва.
12.35-13.00	«Разработки кафедры промышленной экологии РХТУ им. Д.И. Менделеева для процессов водоочистки» - докл. Нистратов Алексей Викторович, к.т.н., доцент кафедры промышленной экологии РХТУ им. Д.И. Менделеева, соавторы: Кузин Е.Н., зав. кафедрой РХТУ им. Д.И. Менделеева, Иванцова Н.А., доцент, РХТУ им. Д.И. Менделеева, Курбатов А.Ю., доцент, РХТУ им. Д.И. Менделеева, Москва.
13.00-14.00	Кофе-брейк (обед).
14.00-14.30	«Ионный обмен или обратный осмос: предпочтения для водоподготовки» - докл. Громов Сергей Львович, к.т.н., доцент кафедры ТОТ НИУ МЭИ, Москва.
14.30-14.55	«Очистка сточных вод с высоким содержанием МЭА (моноэтаноламина)» - докл. Волкова Элеонора Андреевна, инженер-технолог АО «Ионообменные технологии», соавтор: Шалимова Елена Владимировна, начальник технологического отдела АО «Ионообменные технологии», Москва.
14.55-15.10	«Аппаратурное оформление системы промывки теплообменного оборудования. Установки промывки AquaProф.» - докл. Бирзник Константин Борисович, заместитель генерального директора ООО «Астерион», Ленинградская область, Всеволожский район.
15.10-15.35	«Разработка и реализация интеллектуальной системы химического контроля и управления ВХР на ТЭС» - докл. Егошина Ольга Вадимовна, к.т.н., доцент кафедры теоретических основ теплотехники ТОТ НИУ "МЭИ", соавторы: Большакова Н.А., к.т.н., доцент, старший преподаватель, инженер первой категории, Григорьев М.Д., аспирант ТОТ НИУ "МЭИ", Москва.
15.35-16.00	«Современные обратноосмотические мембраны, структура и свойства» - докл. Земляков Дмитрий Иванович, руководитель НИОКР-центра АWT, Москва.
16.00-16.20	«Характеристики готовых решений для водно-химического контроля. Применение портативного оборудования» - докл. Богачева Алла Геннадьевна, ведущий методист ЗАО «Крисмас+», соавтор: Муравьев А.Г., к.х.н., директор производственно-лабораторного комплекса ЗАО «Крисмас+», Санкт-Петербург.
16.20-17.30	Обсуждение итогов конференции. Вопросы от участников.
17.30-22.00	Банкет.

Прорехин Сергей Михайлович
И. о. начальника отдела
водоподготовки ГК «ЭКОС-1».



Окончил Национальный Исследовательский Университет Московский Энергетический Институт (НИУ «МЭИ») по специальности «Технология воды и топлива» Института Тепловой и Атомной энергетики (ИТАЭ) в 2020 г.

С 2018 работает в ГК «ЭКОС-1», с 2024 г в должности И. О. начальника отдела водоподготовки. Занимается разработкой и внедрением технологий реагентной обработки воды в различных отраслях промышленности и энергетики. Основная деятельность связана с водно-химическими режимами паровых котлов, отмывками «на ходу».

Автор более 20 статей, докладов и изобретений (патентов).

ОПЫТ КОМПЛЕКСНОГО ВНЕДРЕНИЯ РЕАГЕНТОВ АМИНАТ™ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ВОДНО-ХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ПГУ-ТЭС

Прорехин С.М., Бутакова М.В., Сухов Г.Д.
ГК «ЭКОС-1», ООО ТД «ЭКОС-1», Москва,
E-mail: Prorekhin@travers.su

Мировая энергетическая практика показывает [1], что улучшение тепловой эффективности энергоблоков можно достичь с помощью парогазовых технологий. Ведущие российские научно-исследовательские институты, такие как ОАО «НПО ЦКТИ», ОАО «ВТИ», ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ» и ФГБОУ УВО «СГТУ», а также зарубежные компании, включая «General Electric», «Skoda», «Siemens» и «MHI», активно занимаются комплексными исследованиями парогазовых установок (ПГУ) различных типов. Интеграция газотурбинных и паротурбинных установок, работающих по высоко- и низкотемпературным циклам, в одном энергоблоке позволяет значительно повысить эффективность использования топлива. Это приводит к увеличению коэффициента полезного действия (КПД) ПГУ до 65%, а для теплофикационных ПГУ в конденсационном режиме — до 45–55%.

В Российской Федерации, где доля природного газа в энергетике превышает 60%, и половина его потребления приходится на тепловые электростанции (ТЭС) для минимизации экологического воздействия, существуют благоприятные условия для внедрения парогазовых установок (ПГУ). За последние десять лет в стране было введено в эксплуатацию более 45 мощных ПГУ, что свидетельствует о растущей популярности этих технологий в производстве электроэнергии и тепла. В связи с этим, вопросы обеспечения безопасной и эффективной эксплуатации парогазовых энергоблоков приобретают особую актуальность.

Критически важным для поддержания надежной и безопасной эксплуатации парогазовых энергоблоков является обеспечение

стабильного качества теплоносителя в соответствии с установленными нормативами, а также реализация оптимального водно-химического режима [2].

В условиях проводимой санкционной политики считаем необходимым использование для ведения водно-химического режима реагентов, производимых на территории Российской Федерации. Перед авторами статьи стала задача комплексной замены зарубежных реагентов, вводимых в технологические системы на одной из ПГУ-ТЭС на юге страны. После проведения подробного анализа работы установок, качества технологических потоков, на техническом выезде были подобраны химических реагенты АМИНАТ™ для следующих эксплуатирующихся систем:

- два энергоблока с котлами-утилизаторами суммарной паропроизводительностью порядка 570 т/час (давление пара на выходе из контура высокого давления (ВД) 7,97 МПа, давление пара на выходе из контура низкого давления (НД) 0,63 МПа);

- водоподготовительная установка (ВПУ) подпитки цикла ПГУ;

- две независимые циркуляционные системы охлаждения основного и вспомогательного оборудования энергоблоков с «сухими» градирнями Геллера;

- пусковая отопительная котельная (ПОК) с водогрейным котлом производительностью 175 м³/час;

Также стоит отметить, что суммарно на данной ПГУ-ТЭС в рамках четырех технологических систем использовалось 11 наименований химической продукции четырех различных производителей, что также децентрализует ответственность производителей.

Водно-химический режим энергоблока с котлами утилизаторами.

С целью защиты конденсатно-питательного тракта от кислородной коррозии путем снижения содержания кислорода в линии основного конденсата и пассивации поверхностей конденсатно-питательного тракта проектом было предусмотрено дозирование зарубежного реагента на основе карбогидрида. Дозирование реагента осуществляется постоянно в линию основного конденсата энергоблока в напорный коллектор КЭН.

Основные нормативные значения показателей качества теплоносителя представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Нормативные значения некоторых показателей качества ВХР согласно режимной карте ВХР энергоблока ПГУ-ТЭС

№ п/п	Точка отбора	Контролируемые параметры						
		рН, ед.рН	О ₂ , мкг/дм ³	аН, мкСм/см	ап, мкСм/см	Fe, мкг/дм ³	(NH ₃), мкг/дм ³	(N ² H ⁴), мкг/дм ³
1	Конденсат за КЭН	-	≤20	≤0,30	4-11	<20	-	Не норм. раб. 4-20
2	Конденсат перед ГПК	8,8-9,5	-	≤0,30	4-11	<20	≤1000	Не норм. раб. 4-20
3	Питательная вода ВД, НД	9,2-9,6	<10	<0,30	4-11	-	-	-
4	Питательная вода за деаэратором	9,2-9,6	<10	-	-	<20	<1000	20-60
5	Котловая вода ВД, НД	9,2-9,6	-	-	10-30	≤30	-	-
6	Насыщенный пар ВД, НД	-	-	≤0,30	-	-	-	-

Для защиты конденсатно-питательного тракта от кислородной коррозии в линию основного конденсата энергоблока было организовано дозирование реагента АМИНАТ™ ВО-1, представляющего собой водный, стабилизированный раствор карбогидрида (N₄H₆CO). Реагент не горюч, относится к умеренно опасным веществам по воздействию на организм (3 класс опасности по ГОСТ 12.1.007). Концентрация рабочего раствора составила 0,14-0,16%, ввод осуществлялся плунжерным насосом-дозатором пропорционально расходу основного конденсата.

Эффективность коррекционной обработки теплоносителя реагентом АМИНАТ™ ВО-1 оценивалась на основании данных химического контроля теплоносителя энергоблока.

В таблице 2 представлены усредненные значения основных пока-

зателей качества теплоносителя в период ОПИ с 07.02 - 07.05.2024 в условиях дозирования реагента АМИНАТ™ ВО-1, а также в период ввода другого реагента на основе карбогидразида в сопоставимые числовые промежутки.

Таблица 2 – Основные усредненные показатели качества теплоносителя водно-химического режима энергоблока

Период	O ² , Конденсат за КЭН	NH ³ , Конденсат перед ГПК,	O ² , Конденсат до деаэ-ра	Питательная вода за деаэратором			O ² , Питательная вода НД,	O ² , Питательная вода ВД
				O ² ,	NH ³ ,	N ² H ⁴ ,		
мкг/дм ³								
07.02-07.03.2024 Период ОПИ	12,67	850,00	11,19	0,996	843,86	20,82	2,65	5,17
07.02-07.03.2023	19,39	919,94	16,07	2,53	909,87	23,37	3,57	6,26
08.03-07.04.2024 Период ОПИ	13,67	850,87	13,10	1,400	857,87	21,79	3,01	6,25
08.03-07.04.2023	19,49	854,71	17,17	2,49	841,15	20,46	3,51	6,62
08.04-07.05.2024 Период ОПИ	17,38	661,00	13,59	2,110	666,09	20,28	1,85	3,83
08.04-07.05.2023	18,29	895,38	15,10	1,63	885,88	21,21	3,24	5,98

Как видно из данных таблицы 2 усредненные концентрации растворенного кислорода находились в нормируемых пределах, а именно конденсат в точке за КЭН составила 14,6 мкг/дм³, конден-

сат за КЭН перед вводом реагентов составила 15,3 мкг/дм³, конденсат до деаэратора составила 12,6 мкг/дм³, в питательной воде за деаэратором - 1,5 мкг/дм³, питательная вода НД - 2,5 мкг/дм³, питательная вода ВД - 5,1 мкг/дм³. Концентрации аммиака и гидразина в питательной воде за деаэратором также находились в нормируемых пределах и составили усреднено 789 мкг/дм³, 21 мкг/дм³ соответственно.

Анализ данных показал полное соответствие качества конденсата паровой турбины, качества питательной воды по содержанию растворенного кислорода ≤ 20 мкг/дм³ и ≤ 10 мкг/дм³ соответственно, по содержанию гидразина в питательной воде 20-60 мкг/дм³. Отсутствовало негативное влияние на другие показатели качества теплоносителя энергоблока, установленные в режимных картах энергоблока. Эффективная доза реагента АМИНАТ™ВО-1 составляла порядка 0,8 г/м³. При этом, как видно из таблицы 2, содержание растворенного кислорода в потоках теплоносителя снизилось в среднем на 30%.

Реагенты для обеспечения работы ВПУ

Для подпитки котлов-утилизаторов всех параметров должна использоваться добавочная вода высокого качества. Это связано с тем, что в контурах котлов-утилизаторов как низкого, так и высокого давления циркулирует один и тот же теплоноситель. В турбину поступает пар из контуров котлов-утилизаторов низкого и высокого давлений. Смешиваясь в проточной части паровой турбины, общий поток пара направляется в конденсатор. Поэтому схема подготовки добавочной воды должна соответствовать требованиям к качеству добавочной воды контуров котлов-утилизаторов высокого давления.

В данном случае исходная вода представляет собой смесь грунтовых, сточных вод и воды реки, которые поступают в напорную контактную емкость сырой воды (НКЕ), перед НКЕ дозируется коагулянт полиоксихлорид алюминия. Состав сырой воды постоянно меняется в некоторых пределах, в зависимости от потоков составляющих. Далее вода подается через самопромывающиеся

дисковые фильтры на установки ультрафильтрации, содержащими полые 7-канальные волокна. Осветленная вода после ультрафильтрации поступает в баки осветленной воды (БОВ). Из баков осветленная вода подается через установки ультрафиолетового обеззараживания на УОО 1 ступени. В общую линию подачи воды на установки дозируют: перед картриджными фильтрами раствор бисульфита (постоянно), биоцида (периодически 1 раз в 10 дней); на входе в каждую установку раствор антискаланта (постоянно) и биоцида (периодически раз в 3-4 дня).

Полученную на установках обессоленную воду (пермеат) декарбонизируют. В воду перед декарбонизаторами периодически 1 раз в 10 дней дозируют раствор биоцида. Затем, вода поступает на УОО II ступени. Перед установкой дозируют раствор щелочи. Пермеат УОО II ступени проходит через установки ультрафиолетового обеззараживания и затем через установки электродеионизации. Глубоко обессоленная вода поступает в бак БГОВ, откуда она поступает на нужды потребителей.

Концентрат УОО II и УЭДИ ступени возвращают в баки БОВ.

Реагентную промывку УОО I ступени проводят периодически при достижении одного из условий: снижения производительности установки на 15 %, увеличения электропроводности пермеата на 15 % или увеличения перепадов давления на 1 и (или) 2 каскадах на 15 %, но не менее, чем один раз в квартал.

Для эксплуатации установок обратного осмоса ВПУ на данной ПГУ-ТЭС было организовано дозирование реагентов АМИНАТ™:

- антискаланта АМИНАТ™ К дозировался перед установкой обратного осмоса УОО 1 ступени;
- для мойки установок обратного осмоса применялись реагенты АМИНАТ™ ДМ-50 и АМИНАТ™ ДМ-56;
- АМИНАТ™ ДМ-К использовался для связывания активного хлора при подаче на все установки первой ступени обратного осмоса;
- АМИНАТ™ БДБ использовался для биоцидной обработки перед картриджами установок обратного осмоса первой ступени; перед

декарбонизаторами.

Дозирование реагентов АМИНАТ™ обеспечило полное соответствие режимов работы оборудования действующим режимным картам ПГУ-ТЭС, за период ОПИ отсутствовало биологическое обрастание на водоподготовительном оборудовании (проводились вскрытия, визуальный осмотр). Проводимые химические мойки позволяли восстанавливать рабочие показатели установок обратного осмоса: производительность по пермеату, перепады давления, удельную электропроводность пермеата.

ВХР систем охлаждения с сухими градирнями ПГУ-ТЭС

Для охлаждения основного и вспомогательного оборудования энергоблоков предусмотрены две независимые циркуляционные системы с «сухими» градирнями Геллера. Особенностью данной системы является замкнутый контур циркуляции конденсатора, расход подпитки в основной контур составляет 120 л/ч, во вспомогательный – 80 л/ч. Для предотвращения развития коррозионных процессов и поддержания значения pH в установленных пределах pH = 9,2-10,4 на всас циркуляционных насосов осуществляется дозирование раствора щелочи NaOH. Для связывания растворенного кислорода и предотвращения кислородной коррозии предусмотрен ввод реагента на основе диэтилгидроксиламина в трубопровод подпиточной воды. В качестве дисперсанта дозируется фосфатный реагент, доза корректируется по аналитическому контролю фосфатов в диапазоне 4-5 мг/л в оборотной воде. Во вспомогательном контуре системы охлаждения имеются медьсодержащие сплавы, ввиду этого для ингибирования коррозионных процессов предусмотрено дозирование реагента для ингибирования коррозии медных сплавов. Для недопущения развития микробиологических отложений на орошаемых поверхностях предусмотрено дозирование биоцида, который вводится насосами-дозаторами в орошаемую воду со средней дозой 50 г/м³ в течение 30 минут 1 раз в неделю (во время работы системы орошения градирни при t наружного воздуха более +28°C).

На рассматриваемых системах в феврале 2024 года был ор-

ганизован ВХР с дозированием реагентов АМИНАТ™. В качестве аналогов применяемой обработки для борьбы с процессами солевых отложений и коррозии проводилась обработка добавочной воды комплексным реагентом АМТЕК™ РО-1, для связывания растворенного кислорода в подпиточной воде использовался реагент АМИНАТ™ДГ-3, для обеспечения защиты медьсодержащего оборудования от протекания коррозионных процессов - АМИНАТ™ БТА.

Основные усредненные показатели качества теплоносителя в первый период начала дозирования реагентов АМИНАТ™ с 07.02 - 07.05.2024 представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Показатели качества теплоносителя водно-химического режима циркуляционной воды и охлаждающей ЗКО в период ОПИ

Период	Циркуляционная вода				Охлаждающая вода ЗКО				
	рН, ед.рН (9,2-10,4)	О ₂ , мкг/дм ³ (<20)	УЭПпр, мкСм/см (<100)	РО ₄ , мг/дм ³ (2-4)	рН, ед.рН (9,2-10,4)	О ₂ , мкг/дм ³ (<20)	УЭПпр, мкСм/см (<100)	РО ₄ , мг/дм ³ (2-4)	Си, мг/л (≤5)
07.02-07.03.2024	9,778	0,710	83,44	4,213	9,671	0,231	80,13	4,31	<5
08.03-07.04.2024	9,792	0,898	83,55	4,092	9,672	0,401	79,54	4,00	<5
08.04-07.05.2024	9,696	0,705	80,33	3,959	9,669	0,550	78,70	3,72	<5

Как видно из данных таблицы 3 в условиях дозирования реагентов АМИНАТ™ усредненные показатели качества теплоносителя, контролируемые согласно режимным картам, находились в нормируемых пределах.

Для определения скорости коррозии с реагентами АМИНАТ™ в период с февраля по апрель 2024 года в трубопроводы контуров охлаждения СВГО-1 и СВГВ-1 были установлены инди-

каторы коррозии. Установка и дальнейшее исследование индикаторов было проведено в соответствии с требованиями РД 153-34.1-17.465-00 [3]. Из заключения по обработке индикаторов следовало, что отложения светло-коричневого цвета, рыхлой структуры имели наносной характер. При механическом воздействии легко отделялись от поверхности металла. Разрушение пластин не наблюдалось.

В соответствии со шкалой РД 153-34.1-17.465-00 скорость коррозии находилась в пределах диапазона агрессивности воды «низкая» (скорость коррозии до 0,03 мм/год).

Таким образом, в условиях эксплуатации парогазовых установок, где требуется поддержание оптимального химического состава теплоносителя, применение реагентов АМИНАТ™ позволило повысить стабильность и надежность функционирования систем охлаждения.

Водно-химический режим водогрейного оборудования

Для обеспечения работы собственной системы теплоснабжения и вспомогательной функции при пуске энергоблоков на данной ПГУ-ТЭС в пусковой отопительной котельной эксплуатируется водогрейный котел «Термотехник ТТ-100».

Для организации ВХР водогрейного оборудования взамен применяемых реагентов для связывания растворенного кислорода в подпиточной воде использовался реагент АМИНАТ™ КО-2, для защиты от протекания коррозионных процессов - АМИНАТ™ КО-5. Дозирование реагентов было организовано в трубопровод подпиточной воды из товарной емкости (канистры).

В виду особенностей эксплуатации теплотехнического оборудования (на момент пусков) проведение полноценных испытаний не представлялось возможным. Однако стоит отметить, что ввиду наличия сертифицированных методик определения реагентов АМИНАТ™ в теплоносителе по тракту, удалось получить достоверные данные о влиянии вводимых реагентов АМИНАТ™ КО-2 и АМИНАТ™ КО-5 на качество подпиточной и сетевой воды.

Выводы

По итогам применения реагентов АМИНАТ™ для нужд

ПГУ-ТЭС было установлено, что их дозирование соответствовало установленным режимным картам на всех технологических системах станции. Комплексный подход ввода реагентов АМИНАТ™ обеспечил повышение эксплуатационных характеристик оборудования, минимизировал риск аварийных ситуаций, обусловленных коррозией и образованием отложений, а также способствовал достижению экономического эффекта за счет замены импортных реагентов отечественными аналогами при сохранении сопоставимых удельных расходов. Также стоит отметить, что компания ООО ТД «ЭККОС-1» предоставила полный перечень реагентов, который ранее обеспечивался четырьмя разными фирмами-производителями реагентов.

Полученные положительные результаты позволяют рекомендовать реагенты АМИНАТ™ для применения на технологических системах ПГУ-ТЭС.

Список литературы

1. А. Ю. Култышев В. Н. Голошумова А. С. Алешина ПАРОГАЗОВЫЕ УСТАНОВКИ И ОСОБЕННОСТИ ПАРОВЫХ ТУРБИН ДЛЯ ПГУ. Учебное пособие., СПбПУ, 2022.
2. Мещерский Н.А. Эксплуатация водоподготовительных установок электростанций высокого давления. – М.Энергоатомиздат, 1984 г.
3. Методические указания по оценке интенсивности процентов внутренней коррозии в тепловых сетях. РД 153.34.1-17.465-00., ВТИ. 2001.

Тушева Мария Александровна
Заместитель начальника отдела
водоподготовки ГК «ЭКОС-1».



В 2008 году окончила инженерно-экологический факультет РХТУ им. Менделеева по направлению «Промышленная экология».

С 2007 года работает в ГК «ЭКОС-1». Занимается разработкой и внедрением технологий реагентной обработки воды в различных отраслях промышленности и энергетики.

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМ КОРРОЗИИ В СИСТЕМАХ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Тушева М. А., Прорехин С. М.
ГК «ЭКОС-1», ООО «НПФ Траверс», Москва
E-mail: tusheva@travers.su

В последние годы поступают обращения от эксплуатирующих организаций с просьбой выявить причины коррозии трубопроводов в системах ГВС и предложить решение по их устранению. Наиболее часто проблемы с коррозией возникают в системах, где магистральные трубопроводы выполняются из стальных оцинкованных труб. При этом неравномерность цинкового покрытия по внутренней поверхности трубы, наличие сварочных швов, выполненных без соблюдения стандарта, приводит к нарушению покрытия и интенсивной коррозии стали. Также среди причин, вызывающих высокую скорость коррозии оцинкованных труб в системах горячего водоснабжения, можно выделить следующие: качество воды, высокая температура (более 60 °С), наличие агрессивных газов (кислорода и углекислого газа) в воде, поступающей в систему ГВС, утечки тока.

В качестве примера рассмотрим работы по внедрению стабилизационной обработки воды, проведенные в одном из московских комплексов, состоящем из отеля и жилых апартаментов. В службу эксплуатации отеля поступали жалобы постояльцев на ржавую горячую воду. Сотрудникам службы приходилось регулярно устранять течи в трубах, вызванные язвенной коррозией (свищи). Предварительное обследование системы показало наличие соединений железа в сетевой воде, превышающее нормативный показатель 0,3 мг/л и составляющее 0,8-2,5 мг/л. Также анализ отложений на вырезках труб, выполненный на сканирующем электронном микроскопе, показал, что основными составляющими отложений являются соединения железа, цинка, в меньшей степени соединения кальция и магния. Для подпитки системы ГВС использовалась

московская водопроводная вода, прошедшая стадию умягчения на натрий-катионитном фильтре, при этом несвоевременная регенерация смолы приводила к проскокам жесткости, с чем и связано наличие соединений кальция в отложениях. Нами было предложено в качестве подпитки системы ГВС использовать не умягченную коррозионноактивную воду, а водопроводную с дозированием ингибитора коррозии и накипеобразования АМИНАТ™ Кв. АМИНАТ™ Кв – реагент на основе фосфонатов, разрешенный к применению в открытых системах теплоснабжения и системах ГВС в дозе, не превышающей значения ПДК данного реагента. Помимо ингибирования процессов накипеобразования и коррозии, этот реагент в низкой дозировке (в пределах значений ПДК) позволяет медленно отмыывать существующие отложения. Применение реагента в более высоких дозах, свыше 5 г/м³ по товарному реагенту, может привести к интенсивной отмывке старых отложений и забиванию трубопроводов продуктами коррозии.

Результаты внедренной технологии в полной мере удалось оценить спустя 2 года от начала дозирования ингибитора АМИНАТ™ Кв. Самыми главными показателями, свидетельствующими об успешном применении стабилизационной технологии, являются отсутствие новых свищей и соответствие показателей качества сетевой воды по содержанию железа нормативным (до 0,3 мг/л). Стоит отметить, что быстрые видимые результаты в подобных условиях при наличии большого количества отложений и высокой скорости коррозии, невозможно получить, однако впоследствии внедрение стабилизационной технологии приводит к стабильным и долгосрочным положительным результатам.

В корпусе с жилыми апартаментами в системе ГВС также наблюдалось интенсивное протекание коррозионных процессов, о чем свидетельствовало постоянное образование свищей на трубопроводах и наличие значительного количества продуктов коррозии стали в сетевой воде, особенно в застойных зонах стояков, на уровне до 10 мг/дм³. При вырезке фрагментов труб на различных участках системы во время останова было обнаружено, что проходное сечение труб на 30-50 % забито продуктами коррозии. Сред-

няя подпитка системы ГВС составляла 0,01-0,02 м³/час, однако в связи с высоким содержанием железа в горячей воде, подаваемой потребителям, специалистами инженерной службы проводились регулярные сливы сетевой воды в дренаж (каждый понедельник и четверг, в другие дни по необходимости) в количестве от 4 до 10 м³, т.е. фактически происходило полное обновление воды в системе. С одной стороны данные мероприятия позволяли удалять продукты коррозии из системы, но с другой стороны способствовали поступлению большого количества кислорода и углекислоты с добавляемой водой, что снова приводило к активному протеканию процессов коррозии в системе. Таким образом, мероприятия, связанные со сливом сетевой воды, лишь временно позволяли улучшить её качество, но никак не способствовали решению проблем ограничения коррозии в системе, а лишь усугубляли её.

Нами было предложено внедрение комбинированного водно-химического режима, включающего коррекционную и стабилизационную обработку подпиточной и сетевой воды. Коррекционная обработка воды предусматривала дозирование реагента АМИНАТ™ КО-6 для повышения значения pH сетевой воды до верхнего нормируемого предела 9,0 с целью предотвращения углекислотной коррозии. Стабилизационная технология предусматривала дозирование реагента АМИНАТ™ Кв в качестве ингибитора накипеобразования и коррозии. Внедрение комбинированной технологии обработки воды позволило снизить скорость коррозии в системе ГВС практически в 3 раза и достичь нормируемых значений, т.е. на уровне 0,1 мм/год. В течении первого полугодия работы системы на комбинированном ВХР были полностью прекращены сливы воды из системы.

Список литературы

1. Методические рекомендации по применению антинакипинов и ингибиторов коррозии ОЭДФК, АФОН 200-60А, АФОН 230-23А, ПАФ-13А, ИОМС-1 и их аналогов, проверенных и сертифицированных в РАО «ЕЭС России», на энергопредприятиях

- СО 34.34.536-2004 / ОАО «ВТИ» - 2005.
2. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. – М.: Омега-Л, 2004.
 3. Кострикин Ю.М., Мещерский Н.А., Коровина О.И. Водоподготовка и водный режим энергообъектов низкого и среднего давления. М.: Энергоатомиздат, 1990.
 4. РД 153-34.1-17.465-00 Методические указания по оценке эффективности процессов внутренней коррозии в тепловых сетях. М.: РАО «ЕЭС России», 2000.
 5. Балабан-Ирменин Ю.В., Липовских В.М., Рубашов А.М. Защита от внутренней коррозии трубопроводов водяных тепловых сетей. М., Новости Теплоснабжения, 2008.

Попов Константин Иванович

доктор химических наук, профессор, ведущий научный сотрудник. Заведующий отделом прикладных технологий АО Научный центр «Малотоннажная химия».



Окончил химический факультет МГУ им. М.В.Ломоносова, 1972 год.

Аспирантура химического факультета МГУ по специальности 02.00.01 «неорганическая химия», 1976 г.

10-месячная стажировка (Postdoctoral work) на кафедре неорганической и общей химии Цюрихского технического университета у профессора Г. Андерегга, Швейцария (ETH, Zurich, 1984-1985)

Сдал экзамен на присвоение звания Старшего лектора (Adjunct-Professor) университета Оулу (Финляндия) по химии координационных соединений, 2007 г. Звание присвоено в 2008 г.

Область научных интересов: термодинамика ионных равновесий в водных растворах; определение констант устойчивости комплексов и диссоциации лигандов методом ЯМР, систематизация данных, моделирование многокомпонентных систем; применение моделирования ионных равновесий в биологии, экологических исследованиях и медицине; термодинамическая устойчивость комплексных соединений в ионных жидкостях и экстракционные процессы; структура и свойства хелатообразующих соединений в водных растворах; спектроскопия ядерного магнитного резонанса координационных соединений; защита окружающей среды; технологии очистки почв и бетонов от радионуклидов и тяжелых металлов при помощи хелатирующих агентов в электрокинетическом режиме; химия фосфоновых кислот, нанотехнологии.

Основные труды:

Монографии и главы в монографиях:

1. К. Попов, V. Chistov, E. Esipova, J. Dikareva, A. Vendilo "Formation of metal-ligand complexes in ILs and perspective of ILs application in purification technologies", Chapter 6 in "Application, Purification and Recovery of Ionic Liquids" (Olga Kuzmina, Ed.) Elsevier, Amsterdam, 2015.
2. A.G.Vendilo, D.I. Djigailo, H.Rönkkömäki, M.Lajunen, E.A.Chernikova, L.H.J.Lajunen, I.V. Pletnev, and K.I.Popov "Thermodynamics of cesium complexes formation with 18-crown-6 in hydrophobic ionic liquids. A correlation with extraction capability". In *Macrocyclic Chemistry: New Research Developments* (Editors: Daniel W. Fitzpatrick and Henry J. Ulrich) Nova Science Publishers, Inc., New York, 2010.
3. A.Vendilo, K.Popov, I. Pletnev, H.Rönkkömäki, M.Lajunen and L.H.J.Lajunen, «Formation of complexes in RTIL and ion separations « in « Ionic Liquids: Theory, Properties, New Approaches» (A.Kokorin, Ed.); InTech, Rijeca, Croatia, 2011, p.p. 483-510.
4. К.И.Попов, И.В.Гмошинский, А.Н.Филиппов, А.В.Жердев, С.А.Хотимченко, В.А. Тутельян. Пищевые нанотехнологии: перспективы и проблемы, М., МГУПП, 2010. (первая российская монография по пищевым нанотехнологиям) .
5. К. I. Popov and H.Wanner "Stability constants data sources: critical evaluation and application for environmental speciation", pp 50-75; and K.Popov, V.Yachmenev, A.Varinov "Enhancement of the Electrokinetic Remediation of Soil Contaminated with U(VI) by Chelating Agents" pp 398-420 in *Biogeochemistry of Chelating Agents* (B.Nowack., J. M. VanBriesen, Eds.) ACS Symposium Series, Vol. 910, Washington DS, 2005. (Монография издана в США)
6. Н.М.Дятлова, В.Я.Темкина, К.И.Попов "Комплексоны и комплексоны металлов" М.: Химия, 1988, 544 с.
7. Т.А.Матковская, К.И.Попов, Э.А.Юрьева "Бисфосфонаты. Свойства, строение и применение в медицине" Химия, 2001, 223 с.

Учебники и учебные пособия:

1. Интерактивный учебник на электронных носителях с грифом IUPAC : Interactive, problem-oriented softbook: Solution Equilibria: principles and applications (for Windows 95, 98 and NT). Academic Software and K. J. Powell, UK, Release 1. 1999. Contributing Authors: R. Byrne, T. Kiss, L. Lidgren, P. M. May, C. O. Orindo, L. D. Pettit, K. I. Popov, K. J. Powell, R. W. Ramette, S. Sjoberg, R. M. Town, and L. O. Ohman.

Статьи:

1. A. Vendilo , K. Popov, M. Lajunen, V. Chistov, D. Djigailo, H. Rönkkömäki, V. Privalov, I. Pletnev. A cesium-133 nuclear magnetic resonance study of the cesium cation complexation by macrocyclic polyethers in hydrophobic RITLs // *Polyhedron* 81 (2014) 341–348. , P. 50–54.
2. Popov K.I., Vendilo A.G., Chistov V., Rönkkömäki H., Lajunen M., Privalov V., Dikareva J. Stability constants of lithium complexes with 15 crown-5 and 18-crown-6 in a hydrophobic ionic liquid 1-butyl-3-methylimidazolium is[(trifluoromethyl)sulphonyl]imide // *Polyhedron*. 2013, Vol. 63.
3. K.I.Popov, H.Rönkkömäki, L.H.J.Lajunen. Critical Evaluation of Stability Constants of Phosphonic Acids // *Pure Appl. Chem.* (2001), V.73, No.10. , P.P. 1641-1677.
4. K.I.Popov, H. Rönkkömäki, L. H. J. Lajunen. Guidelines for NMR Measurements for Determination of High and Low pK Values // *Pure Appl. Chem.* (2006) V 78, p.p. 663-675.
5. G.Anderegg, F.Arnaud-Neu, R.Delgado, J. Felcman, K.Popov. Critical Evaluation of Stability Constants of Metal Complexes of Complexones for Biomedical and Environmental Applications // *Pure Appl. Chem.* (2005), Vol. 77, No. 8, p.p. 1445-1495.
6. Lapkina L.A., Niskanen E., Ronkkomaki H., Larchenko V.E., Popov K.I., Tsvadze A.Yu. Synthesis and Characterization of sandwich-type gadolinium and ytterbium crown ether substituted phthalocyanines // *Journal of Porphyrines and Phthalocyanines*. 2000. T. 4. № 6. С. 587-589.
7. К. I. Popov, V. G. Yachmenev, A. Kolosov, N. Shabanova. Effect of

Soil electroosmotic flow enhancement by chelating reagents// Colloids and Surfaces.A (1999) V.160,No.2,pp. 135-140.

8. K.Popov, I.Glazkova, V.Yachmenev, A.Nikolayev. Chelating agent assisted electrokinetic remediation of concrete surfaces // Environ. Pollut. (2008), V.153, p.p. 22-28.

9. Poykio, R.; Ronkkomaki, H.; Nurmesniemi, H.; Peramaki, P., Popov, K.; Valimaki, I.; Tuomi, T. Chemical and physical properties of cyclone fly ash from the grate-fired boiler incinerating forest residue at a small municipal district (6MW) // Journal of Hazardous Materials P.1059-1064.

Авторские свидетельства и патенты:

1. № 1778172 Детергент для очистки твердых поверхностей. 1992 г. АС СССР.

2. № 1785142 Способ получения заготовок из порошков на основе титана. 1992 г. АС СССР.

3. № 1234423 Способ очистки диффузного сока. 1984 г. АС СССР.

4. № 1621442 Способ получения себациновой кислоты. 1989 г. АС СССР.

Профессиональные награды и звания:

- Почетный работник высшего профессионального образования, 2012 год.

- Почетная грамота Минобрнауки России за развитие научных исследований в пищевых отраслях, Приказ от 23.0.3.2006. №54-к.

Награды за участие в научных конкурсах:

1. 1996 Присуждена мемориальная медаль имени академика Ильи Черняева за цикл работ по селективному уширению линий ЯМР парамагнитными комплексными соединениями (ИОНХ РАН, Москва).

2. 1997 Премия “Environment and Living” (Baden-Wuerttemberg, Germany) за цикл работ в области электрокинетической очистки почв от радионуклидов, тяжелых металлов и токсичных органических соединений.

3. 2002 Победитель конкурса Гранты Москвы в области химии («Профессор 2002») .

4. 2004 Победитель конкурса Гранты Москвы в области химии

(«Профессор 2004»).

5. 2004 Победитель конкурса Гранты Москвы в области химии («Профессор 2005»).

6. 2004 Почетный штандарт Университета Оулу (Финляндия) за успехи в совместных исследованиях.

7. 2010 Победитель первого Всероссийского научного конкурса «Инновационная Инициатива 2009». I место присуждено за научную работу в категории “Химия поверхностных явлений”. Конкурс проводился совместно МГУ им. М.В.Ломоносова и компанией Proctor&Gamble.

ОСНОВНЫЕ ЗАБЛУЖДЕНИЯ В ОТНОШЕНИИ МЕХАНИЗМОВ ЗАРОЖДЕНИЯ НЕОРГАНИЧЕСКИХ СОЛЕОТЛОЖЕНИЙ, МЕХАНИЗМОВ ДЕЙСТВИЯ ИНГИБИТОРОВ ЭТОГО ПРОЦЕССА И СПОСОБОВ ЗАМЕДЛЕНИЯ ОТЛОЖЕНИЯ СОЛЕЙ

К.И.Попов¹, М.В.Трухина¹, С.М.Прорехин^{1,2}, М.В.Бутакова^{1,2}, М.С.Ощепков³, Д.С. Прирез^{1,2}, О.А. Гринюк^{1,2}

¹ АО Научный центр «Малотоннажная химия», Москва

² ООО «НПФ «ТРАВЕРС», ГК «ЭКОС-1»

³ Российский химико-технологический университет им. Д.И.Менделеева, Москва

E-mail: ki-popov49@yandex.ru

Отложения неорганических солей (карбонатов кальция, гипса, барита, фосфатов кальция и др.) на поверхностях технологического оборудования представляют серьёзную проблему в теплоэнергетике, водоочистке, нефтедобыче, опреснении воды снижая его эксплуатационные характеристики. Наиболее эффективным и общепринятым способом снижения потерь от солеотложений является применение субстехиометрических ингибиторов (антискалантов), позволяющих при дозировках 10-20 мг/л существенно тормозить, но не предотвращать процесс осадкообразования [1]. По состоянию на 2024 год мировой рынок антискалантов в стоимостном выражении составлял 4.4 миллиардов долларов США, и по прогнозам к 2034 году должен выйти на уровень 7.6 миллиардов [2]. При этом в 2024 году мировой объём продаж ингибиторов солеотложений в секторе водоподготовки составил 2,2 миллиарда долларов, а в секторе деминерализации с помощью обратного осмоса – 1,5 миллиарда. Наибольшее распространение в настоящее время получили такие ингибиторы, как поликарбоксилаты (полиакрилаты (РА), полиэпоксисукцинаты (PESA), полиаспартаты (PASP) и др.), фосфонаты (гидроксиэтилиденбис(фосфофоновая кислота), (HEDP); нитрилотрис(метиленфосфофоновая кислота), (ATMP)) а также фос-

фонобутантрикарбоновая кислота (РВТС) и различные композиции на их основе. Однако, несмотря на многолетнее и успешное применение этих ингибиторов всеми технологически развитыми странами на протяжении свыше восьмидесяти лет, до настоящего времени нет единства в понимании механизмов формирования самих отложений и механизмов ингибирования [1,3], что не может не сказываться на эффективности применения антискалантов.

В частности, в отношении механизмов формирования отложений существует несколько взаимоисключающих мнений. Ряд исследователей настаивает на механизме спонтанного гомогенного зарождения кристаллов в пересыщенных растворах [4,5]. Альтернативная точка зрения отрицает гомогенный механизм и основывается на гетерогенной природе нуклеации в объёме пересыщенного раствора: зародыши кристаллов формируются исключительно на нано/микропримесях, всегда присутствующих в водных растворах любой степени чистоты, включая особо чистые реагенты [6,7]. Mullin [8] полагает, что при низких степенях пересыщения в растворах преобладает гетерогенный механизм, а при высоких – гомогенный. Однако, наши последние исследования показали, что приводимые в [8] факты могут быть полностью объяснены в рамках гетерогенной модели без привлечения гомогенного механизма [9].

Ещё большие противоречия и откровенно ошибочные представления характерны в отношении механизмов действия ингибиторов солеотложений [1,3,9-15]. Предполагается, что антискаланты могут замедлять стадии зарождения кристаллов (стадия нуклеации), роста кристаллов и агрегации кристаллов. Однако, степень вклада каждой из этих стадий в скорость формирования солеотложений в каждом конкретном случае, как правило, не ясна. Большинство исследователей считает, что основными механизмами являются хелатирование (образование антискалантом прочных водорастворимых комплексных соединений с ионами кальция, магния, бария и других катионов), диспергирование (придание антискалантом кристаллам малорастворимых солей отрицательного электростатического заряда, препятствующего их агрегации) и торможение роста кристаллов малорастворимых солей за счёт блокировки антискалантом актив-

ных центров роста кристалла [10-13]. Вместе с тем, фундаментальные исследования механизмов ингибирования, проведённые в последнее десятилетие совместно НЦ «Малотоннажная химия» и НПФ ТРАВЕРС [1,3,15] показали, что большинство общепринятых представлений о том, как именно антискалант замедляет формирование отложений, являются ошибочными.

1.Заблуждение №1: хелатный эффект.

Все известные антискаланты способны образовывать водорастворимые комплексные соединения с ионами кальция за счёт хелатного эффекта. Фосфонаты HEDP и АТМР образуют более устойчивые комплексы, а РА – наименее устойчивые. На этом основании многие специалисты, работающие в области ингибирования солеотложений, ошибочно полагают, что именно способность антискалантов снижать концентрацию ионов кальция в воде обеспечивает основной эффект ингибирования. Действительно, некоторое снижение наблюдается, но оно совершенно несопоставимо по величине с эффектом ингибирования. Это хорошо видно при

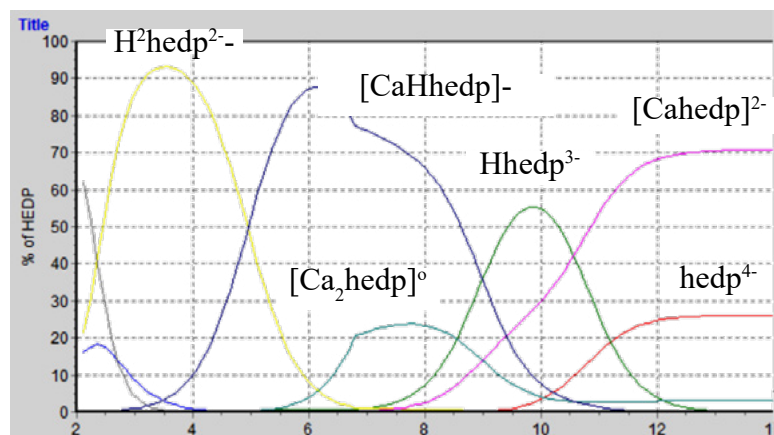


Рисунок 1. Распределение форм антискаланта HEDP в зависимости от pH в растворе, содержащем 0.05 ммоль/л HEDP, 3 ммоль/л Ca²⁺ и 6 ммоль/л CO₃²⁻ при 25 оС и ионной силе 0 моль/л (програмное обеспечение SPECIES; IUPAC SC Database; нерастворимые соли Ca-HEDP в расчёт не включали).

моделировании ионных равновесий с участием антискалантов. На рисунке 1 представлено распределение форм комплексных соединений HEDP в пересыщенном растворе карбоната кальция, содержащем 0.05 ммоль/л HEDP, 3 ммоль/л Ca²⁺ и 6 ммоль/л CO₃²⁻. HEDP действительно образует комплексы с ионами кальция [CaHhedp]⁻, [Ca₂hedp]^o и [Cahedp]²⁻, но в количествах, не превышающих 0.05 ммоль при общем содержании кальция 3 ммоль/л. Дело в том, что все субстехиометрические ингибиторы применяются в дозировках, обеспечивающих мольное соотношение кальций/ингибитор 1:500 и даже 1:1000, а комплексообразование происходит в мольном соотношении 1:1. Таким образом, антискалант способен уменьшить за счёт комплексообразования концентрацию кальция только на одну тысячную или сотую долю, что совершенно не сказывается на степени пересыщения и не имеет никакого отношения к ингибированию. Специалисты НПФ ТРАВЕРС располагают необходимыми базами данных (IUPAC SC DATABASE) и программным обеспечением (SPECIES, Academic Software, UK) для проведения необходимых расчётов и применяют моделирование по мере необходимости при анализе конкретных случаев отложений.

2.Заблуждение №2: диспергационный эффект.

Все известные антискаланты являются кислотами, диссоциирующими в воде с образованием отрицательно заряженных ионов. Эти анионы могут сорбироваться на поверхности формирующихся кристаллов неорганических солей, придавая им одноименные отрицательные заряды, затрудняя тем самым образование крупных агрегатов и замедляя седиментацию кристаллов на поверхность технологического оборудования. Хорошо известно, что если дзета-потенциал кристаллов малых размеров будет меньше, чем -30 мВ, то данный фактор действительно способен замедлить агрегацию и обеспечить устойчивость коллоидной системы. Однако, нами в серии работ по осаждению карбоната кальция и гипса в присутствии РА, PESA, PASP, HEDP, АТМР, РВТС [16,17] было установлено, что реальные значения дзета-потенциалов колеблются в пределах от -0.6 до -7.0 мВ в случае гипса и от -6 до -13 мВ в

случае карбоната кальция. Столь малые значения не могут обеспечить коллоидной стабильности. Более того, оказалось, что степень ингибирования не коррелирует с величиной дзета-потенциала. Таким образом, диспергационный эффект антискалантов незначителен и не вносит сколько-нибудь существенного вклада в процесс ингибирования.

3.Заблуждение №3: эффект замедления стадии роста кристаллов за счёт блокировки антискалантом активных центров роста.

Подавляющее большинство специалистов, работающих с ингибиторами солеотложений, убеждено, что молекулы ингибитора сорбируются на быстро растущих центрах роста кристаллов солеотложений (границы, рёбра) и замедляют тем самым процесс формирования осадка [10-14]. Основным аргументом в пользу этой гипотезы является деформация формы кристаллов в присутствии ингибитора, действительно нередко наблюдаемая на практике. Однако, как следует из исследований кинетики ингибирования, рисунок 2, стадия роста кристаллов (рисунки 2b,c) сравнительно редко является определяющей скоростью. Наиболее часто встречаются случаи, когда наибольший вклад в замедление осадкообразования вносит стадия нуклеации (время индукции, t_{ind}), а длительность стадии роста кристаллов (t_{growth}) оказывается совершенно такой же в присутствии ингибитора, как и в его отсутствие, рисунок 2а.

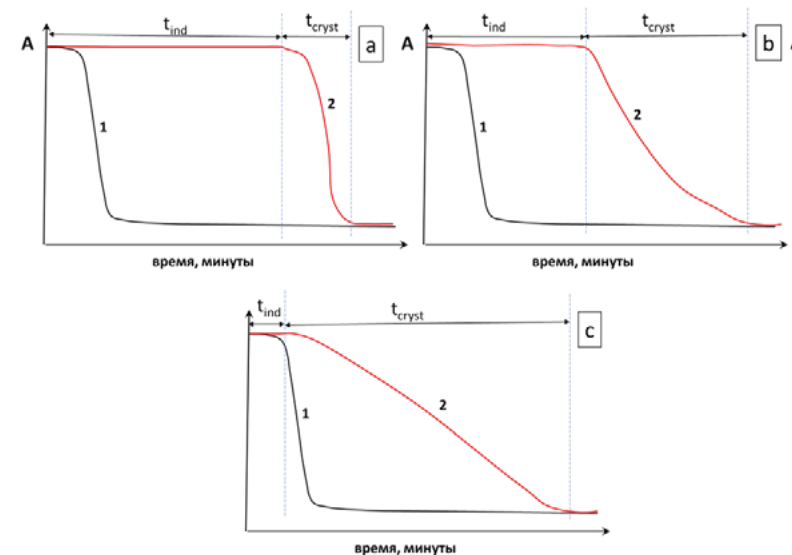


Рисунок 2. Различные варианты зависимостей параметров пересыщенных растворов (a,b,c) от времени в отсутствие ингибитора (1) и в его присутствии (2), где A – удельная электропроводность, концентрация ионов кальция в водной фазе или прозрачность раствора.

Более того, никто из многочисленных сторонников блокировки роста кристаллов за 80 лет ни разу не удосужился поинтересоваться, где же в действительности локализуется ингибитор. Впервые в мире эта задача была поставлена и реализована сотрудниками ИЦ «Малотоннажная химия» и ТРАВЕРС в 2019 году. Для этого нами была синтезирована серия антискалантов с флюоресцентными метками, позволяющими визуализировать молекулы ингибиторов. Были получены флюоресцентные аналоги HEDP (HEDP-F), АТМР (ADMP-F) и РА (РАА-F1, РАА-F2), рисунок 3, и в лабораторных условиях исследованы процессы, имитирующие формирование отложений карбонатов кальция, барита, гипса, гидрофосфата кальция в установках обратного осмоса, электродиализа, систем охлаждения, бойлерах, выпарных установках и в нефтяных установках [1,3,15]. При этом оказалось, что в действительности молекулы антискаланта локализуются совсем не там, где ожидалось. Наиболее наглядные и парадоксальные результаты были получены с кристаллами

гипса. Выяснилось, что в условиях обратного осмоса HEDP-F вообще не сорбируется на поверхности кристаллов гипса, а формирует собственную фазу Ca-HEDP-F. При этом эффект ингибирования обеспечивается в полной мере, а образующиеся кристаллы $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ не деформируются.

Не менее интересный эффект наблюдался при выпаривании растворов $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ в присутствии PAA-F1 рисунок 4 (плавный переход от ненасыщенного к пересыщенному раствору). Места локализации хорошо детектируются во флюоресцентном микроскопе (рисунок 4b,c) благодаря зелёному свечению. Хорошо видно, что кристаллы $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, выделенные в присутствии PAA-F1 (рисунок 4b,c) сильно деформированы по сравнению с холостым опытом (рисунок 4a). Однако антискалант ни в коей мере не блокирует мест деформации, а просто сорбируется в виде собственной фазы Ca-PAA-F1.

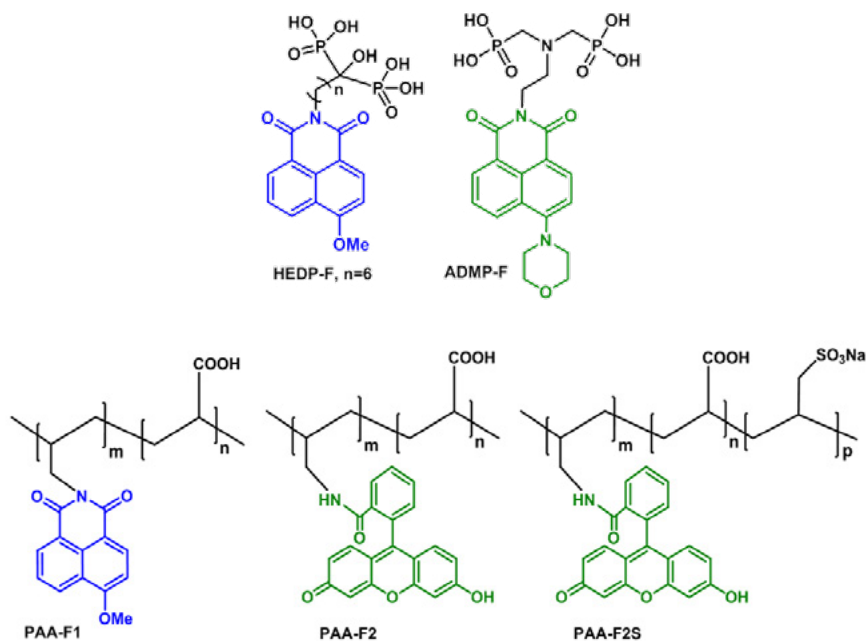
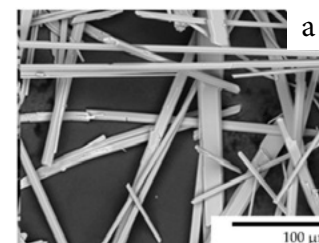
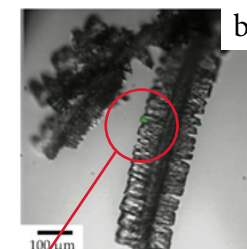


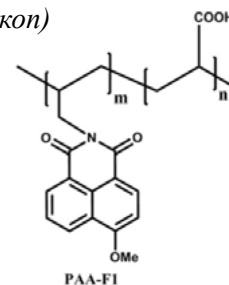
Рисунок 3. Флюоресцентные антискаланы НЦ «Малотоннажная химия» и ТРАВЕРС



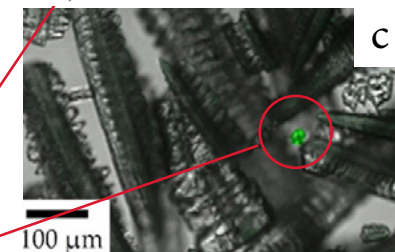
Кристаллы гипса в холостом опыте (сканирующий электронный микроскоп)



Кристаллы гипса в присутствии PAA-F1 (флюоресцентный микроскоп)



Места локализации PAA-F1



Кристаллы гипса в присутствии PAA-F1 (флюоресцентный микроскоп)

Рисунок 4. Кристаллы гипса, выделенные при выпаривании ненасыщенного раствора в присутствии PAA-F1

В аналогичных условиях в присутствии ADMP-F кристаллы гипса не деформируются, а антискалант сорбируется на их поверхности, рисунок 5. Но при этом никаких специальных мест локализации не детектируется. Ингибитор спонтанно покрывает отдельные места граней кристаллов (выделены оранжевыми кружками).

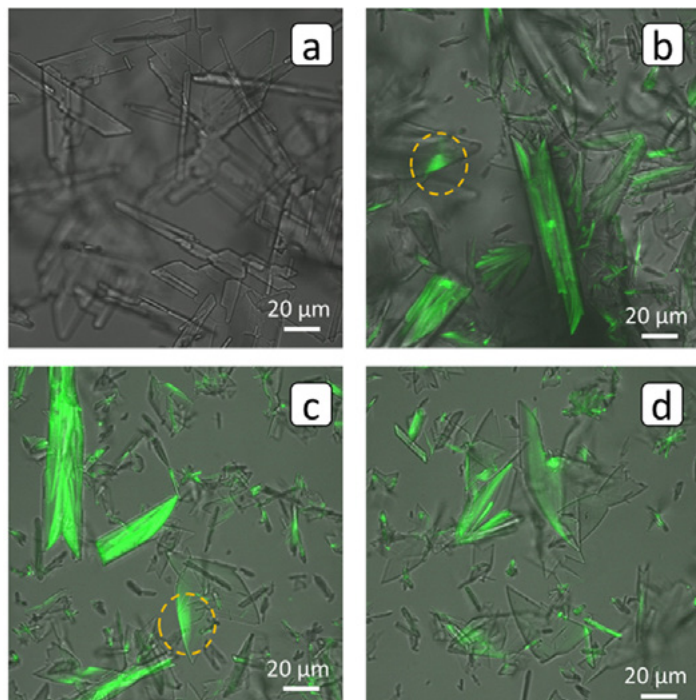


Рисунок 5. Кристаллы гипса в водном растворе, наблюдаемые с помощью флуоресцентного микроскопа после упаривания ненасыщенного раствора в холостом опыте (а) и в присутствии ADMP

Были также зафиксированы случаи совершенно равномерного покрытия антискалантом поверхности кристаллов кальцита и барита без локализации на каких-либо гранях, рёбрах или изломах. Также обнаружено, что кристаллы гидрофосфата кальция и гипса в определённых условиях оказываются сильно деформированы без малейших следов ингибитора на их поверхности. Более того, ингибитор в ряде опытов был детектирован не на медленно растущих гранях кристаллов, а на тех, которые росли быстрее всего. В целом, нами установлено полное отсутствие корреляций между эффективностью ингибирования и степенью деформации кристаллов солеотложений [3,17]. Таким образом, нами впервые была показана и доказана несостоятельность гипотезы блокировки антискалантом активных центров роста кристаллов.

4.Заблуждение №4: эффект замедления стадии нуклеации за счёт блокировки антискалантом спонтанно образующихся агрегатов молекул малорастворимых солей.

Эта гипотеза предполагает, что в водном растворе спонтанно образуется гомогенный агрегат ионов кальция и сульфат- или карбонат-анионов. Молекула антискаланта тут же сорбируется этим агрегатом и не даёт ему вырастать до размеров, превышающих критические. Согласно химической термодинамике, такой агрегат, не достигший критического размера, самопроизвольно распадается на ионы, молекула ингибитора высвобождается и готова блокировать следующий агрегат. Эта гипотеза может в какой-то степени объяснить действие антискалантов малой молекулярной массы (HEDP, ATMP, PBTC), но она совершенно непригодна для полимеров PA, PASP, PESA с молекулярной массой от 2000 до 5000 Да, неспособных быстро перемещаться в растворе от одного агрегата к другому.

5.Заблуждение №5: нуклеация в лабораторных образцах, профильтрованных через мембраны с рейтингом 200 нм, и приготовленных с использованием реактивов, и воды высокой чистоты (х.ч., осч) может проходить только по гомогенному механизму.

Наши последние исследования [9] показали, что в любых реактивах особой чистоты всегда присутствует огромное количество нанопримесей различной природы. В частности, деионизированная вода содержит свыше 10⁶ частиц размером более 20 нм в 1 мл, а в изопропанолe особой чистоты для микроэлектроники таких частиц порядка 10⁵ в 1 мл. Фильтрация таких жидкостей через мембраны с рейтингом 200 нм и даже 100 нм неспособна снизить их количество. Поэтому гетерогенная нуклеация является наиболее вероятным механизмом и в этом случае.

6. Заблуждение №5: ионы железа и алюминия в растворах с 3<pH<9 следует рассматривать как Fe³⁺ и Al³⁺.

Это не так. Учёт ионных равновесий 9 (см. раздел 1) показывает, что вместо этих ионов в подавляющем большинстве случаев в растворах в указанном интервале pH присутствуют коллоидные частицы гидрокси/оксидов этих химических элементов, способные

инициировать кристаллизацию карбонатов и сульфатов кальция в пересыщенных растворах.

7. Что не является заблуждением по мнению специалистов НПФ ТРАВЕРС.

На основании фундаментальных исследований специалистов НПФ ТРАВЕРС последних десяти лет в области теории ингибирования сформировано понимание механизма зарождения отложений как гетерогенного процесса возникновения зародышей новой фазы исключительно на твёрдых нано/микропримесях (центрах кристаллизации), всегда присутствующих в объёме любого водного раствора, рисунок 6. В этом контексте процесс ингибирования заключается не в блокировке поверхности кристаллов кальцита, гипса, барита и других малорастворимых солей, а в блокировке поверхности именно нано/микропримесей («нанопыли»), рисунок 7.

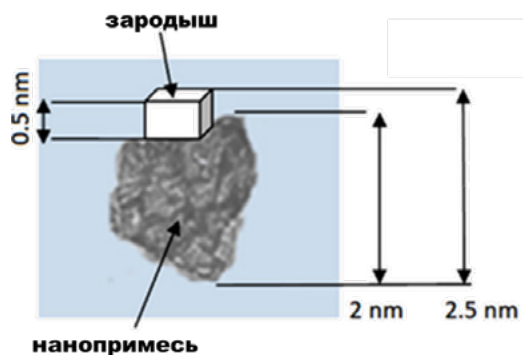


Рисунок 6. Схематическое изображение образования зародыша солей на частице наноприимеси

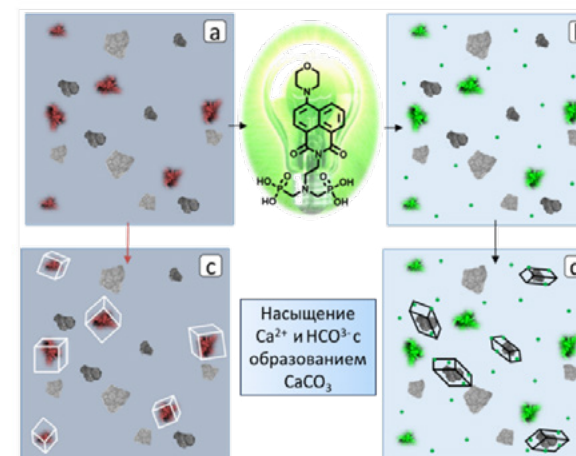


Рисунок 7. Схематическое изображение образования зародыша карбоната кальция из пересыщенного раствора (a) на частицах наноприимесей (показаны три типа примесей, выделенных красным, светло серым и тёмно серым цветом) в отсутствие (c) и в присутствии ингибитора ADMP-F (b, d). Зелёные шарики обозначают молекулы ADMP-F; частицы, селективно сорбиравшие антискалант, также окрашены зелёным цветом.

При этом следует учитывать, что водная фаза всегда содержит несколько типов наноприимесей – прекурсоров будущих кристаллов кальцита. Например, на рисунке 7а красные частицы соответствуют гидрокси/оксидам железа, светло серые - частицам кварца, и тёмно-серые - частицам алюмосиликатов. Разумно предположить, что каждый тип примесей в различной степени ускоряет кристаллизацию. Поэтому, по достижении момента пересыщения кристаллизация быстро проходит на каком-то одном виде «нанопыли». На схеме 7 показано, что лучшим прекурсором является гидрокси/оксид железа. Антискалант также в разной степени сорбируется разными типами наночастиц. На рисунке 7 ADMP-F блокирует гидрокси/оксид железа, но не алюмосиликаты. Тогда кристаллизация карбоната кальция вынужденно проходит на алюмосиликатах, являющихся не такими хорошими темплатами, как гидрокси/оксид железа. Это естественным образом: а) замедляет процесс кристал-

лизации отложения и б) возможно способствует росту другой кристаллической модификации, например – ватерита. Подобная схема является универсальной, непротиворечиво объясняющей практически все явления, связанные с феноменом ингибирования. Наши результаты и взгляды являются пионерскими. Они прошли международную экспертизу и опубликованы в ведущих мировых журналах первого квартиля: *Colloids and Surfaces, A; ChemNanoMat; Int. J. Corr. Scale Inhib.; Crystals; Sep. Purif. Technol.; Membranes; Int. J. Molecular Sci.* и др. Согласно данным Google Scholar за короткий период времени они получили признание специалистов 40 стран (Англия, Австралия, Азербайджан, Бразилия, Венгрия, Газа, Германия, Греция, Дания, Египет, Израиль, Индия, Индонезия, Испания, Иран, Италия, Канада, Катар, КНР, Ливан, Макао, Малайзия, Мексика, Намибия, Нидерланды, Норвегия, Польша, Россия, Саудовская Аравия, Сингапур, США, Тайланд, Танзания, Турция, Филиппины, Финляндия, Франция, Украина, Чили, ЮАР) и насчитывают свыше 320 независимых цитирований. В современных обзорах по ингибированию солеотложений [18,19] исследованиям НПФ ТРАВЕРС посвящены отдельные разделы.

Ведущие мировые издательства считают за честь опубликовать обобщённые результаты специалистов НПФ ТРАВЕРС и НЦ Малотоннажная химия в виде глав в монографиях, посвящённых ингибированию солеотложений. За последние годы такие предложения поступали от John Wiley, Elsevier, IntechOpen, The royal Society of Chemistry, были приняты и реализованы в монографиях “Desalination and Water Treatment”, 2018 (Ed. M Eyvaz, E Yüksel), IntechOpen; “Water-Formed Deposits: Fundamentals and Mitigation Strategies” 2022 (Eds.: Amjad, Z. and Demadis, K.) Elsevier; “Scale Inhibition: Principles, Design, and Applications” 2024 (Ed. I. Y. Yaagoob, C. Verma), John Wiley; “Phosphonate Chemistry, Technology and Applications” 2025 (Ed.: Demadis, K.) The royal Society of Chemistry.

В настоящее время НПФ ТРАВЕРС является единственной российской фирмой в области водоподготовки, успешно сочетающей фундаментальные исследования мирового уровня с решени-

ем прикладных задач у конкретных потребителей. НПФ ТРАВЕРС проводит совместные исследования с ведущими университетами и научно-исследовательскими институтами России: Национальным исследовательским университетом «МЭИ» в области обратного осмоса и защиты паро-конденсатного тракта от коррозии; Российским химико-технологическим университетом имени Д. И. Менделеева в области синтеза флуоресцентных ингибиторов; Институтом общей физики имени А. М. Прохорова РАН в области флуоресцентной микроскопии; Московским государственным строительным университетом в области обратного осмоса; Институтом спектроскопии РАН, Троицк, в области ультрамикроскопии; Кубанским государственным университетом, Краснодар, в области электродиализа; Институтом проблем нефти и газа РАН, Москва в области ультрамикроскопии.

Специалисты НПФ Траверс постоянно создают новые и совершенствуют уже существующие композиции (реагенты), а также технологии их применения, опираясь на научные исследования и разработки, проводимые в хорошо оснащённом и имеющим широкий приборный парк научном центре «Малотоннажная химия», что в совокупности с многолетним опытом практического применения технологий реагентной обработки позволяет реагентам АММИНАТ™ занимать лидирующие позиции в сфере водоподготовки.

Постоянными потребителями реагентов АМИНАТ™ являются более 1500 предприятий (пищевая промышленность, нефтехимическая промышленность, предприятия энергетического комплекса и др.) по всей территории РФ и в странах ближнего зарубежья.

Список литературы

1. Ощепков М. С., Рудакова Г. Я., Ткаченко С. В., Ларченко В. Е., Попов К. И., Тушева М. А. Современное состояние теории действия ингибиторов солеотложений (обзор). Теплоэнергетика. 2021. № 5. С. 43–55.
2. Global Market Insights, Antiscalants Market Size, (2025).
3. K. Popov, M. Oshchepkov, S. Tkachenko, M. Trukhina. Fluorescent

- phosphonates for water treatment applications. Chapter I.5 in “Metal phosphonate chemistry: From synthesis to applications” Ed. Kostas Demadis, The Royal Society of Chemistry, 2025, в печати.
4. Wolthers, M., Gebauer, D., Demichelis, R. (2025). Early Stages of Mineral Formation in Water: 5. From Ion Pairs to Crystals. *Elements*, 21(1), 18-24.
 5. Jia, C., Xiao, A., Zhao, J., Wang, P., Fang, X., Zhang, H., Guan, B. (2023). A new perspective on crystal nucleation: A classical view on non-classical nucleation. *Crystal Growth Design*, 24(1), 601-612.
 6. Liu, X. Y. (2000). Heterogeneous nucleation or homogeneous nucleation?. *The Journal of Chemical Physics*, 112(22), 9949-9955.
 7. Zhang, T. H., Zhang, Z. C., Cao, J. S., Liu, X. Y. (2019). Can the pathway of stepwise nucleation be predicted and controlled?. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 21(14), 7398-7405.
 8. Mullin, J.W. *Crystallization*, Fourth edition, 2001, Butterworth-Heinemann, Reed Educational and Professional Publishing Ltd, Oxford MA, P.192.
 9. Popov, K., Vainer, Y., Silaev, G., Kuryakov, V., Trukhina, M., Koltinova, E., Trokhin, V., Oshchepkov, M., Butakova, M., Oshchepkov, A. (2024). Potential Nano/Microcenters of Crystal Nucleation in Reagent-Grade Purity Solvents and Their Differentiation by Fluorescent-Tagged Antiscalant. *Crystals*. 14. 650.
 10. A. Antony, J.H. Low, S. Gray, A.E. Childress, P. Le-Clech, G. Leslie, Scale formation and control in high pressure membrane water treatment systems: A review, *J. Memb. Sci.* 383 (2011) 1–16.
 11. L. Liu, A. He, Research progress of scale inhibition mechanism, *Adv. Mat. Res.* 955–959 (2014) 2411–2414.
 12. Y.M. Al-Roomi, K.F. Hussain, Potential kinetic model for scaling and scale inhibition mechanism, *Desalination* 393 (2016) 186–195.
 13. S. Dobberschutz, M.R. Nielsen, K.K. Sand, R. Civioc, N. Bovet, S.L.S. Stipp, M.P. Andersson, The mechanisms of crystal growth inhibition by organic and inorganic inhibitors, *Nat. Commun.* 9 (2018) 1578.
 14. Alsaif, B., Abdel-Azeim, S. (2025). Molecular Insights into Scale Inhibition: A Molecular Dynamics Study of Phosphonate-Based Inhibitors on a Calcite Surface. *Langmuir*. в печати.
 15. Oshchepkov, M. S., Popov, K. I. (2022). Mechanisms of scale inhibition derived from a fluorescent-tagged antiscalant visualization, in *Water-Formed Deposits: Fundamentals and Mitigation Strategies* (Eds.: Amjad, Z. and Demadis, K.); Elsevier; Amsterdam, Oxford, Cambridge, 2022, pp. 765-782.
 16. K. Popov, G. Rudakova, V. Larchenko, M. Tusheva, S. Kamagurov, J. Dikareva, N. Kovaleva, Comparative performance ranking of some phosphonates and environmentally friendly polymers on CaCO₃ scaling inhibition by NACE protocol, *Des. Wat. Treat.* 69 (2017) 163–172.
 17. K. Popov, G. Rudakova, V. Larchenko, M. Tusheva, S. Kamagurov, J. Dikareva, N. Kovaleva, A comparative performance evaluation of some novel “green” and traditional antiscalants in calcium sulfate scaling, *Adv. Mater. Sci. Eng.* 10 (2016) 7635329.
 18. Jianxun Jiang, Feng Zhu et al. Calcium sulfate scale control technology for circulating cooling water systems: A review. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 2025 in press.
 19. Ahmed, M. A., Mohamed, A. A. (2024). Evaluation and optimization of antiscalant substances for enhanced reverse osmosis performance. *Journal of Saudi Chemical Society*, 101923.

Трухина Мария Васильевна
главный технолог группы компаний
«ЭКОС-1», заведующая лаборатории
инновационных технологий Научного
центра «Малотоннажная химия».



Окончила Российский Химико-Технологический Университет имени Д.И. Менделеева (РХТУ им Д.И. Менделеева) по специальности «Химия и технология кристаллов» в 2009 г. Работала на кафедре с 2008 по 2010 год. Научная работа была посвящена разработке методов получения коллоидных растворов наноалмазов и углеродных нанотрубок, а также разработки способов их практического применения.

С 2011 работает в ГК «ЭКОС-1», с 2018 г в должности главный технолог и заведующий лаборатории инновационных технологий отдела прикладных технологий научного центра «Малотоннажная химия». Основная деятельность связана с разработкой новых продуктов компании и технологии их производства.

С 2022 года под руководством д.х.н. Попова Константина Ивановича приступила к работе над кандидатской диссертацией, посвящённой уточнению теории действия ингибиторов солеотложения на примере кристаллизации карбоната и сульфата кальция.

Автор более 30 статей, докладов и изобретений (авторских свидетельств и патентов).

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИНГИБИТОРОВ СОЛЕОТЛОЖЕНИЯ В ВОДООБОРОТНЫХ СИСТЕМАХ НА ПРИМЕРЕ НОВОГО ИНГИБИТОРА АМЕТЕК АП-2

**М.В. Трухина^{1,2}, К.И. Попов¹, В.А. Удовенко¹, Н.И. Кортенок¹,
М.А. Тушева^{1,2}, С.М. Прорехин^{1,3}, Д.С. Прирез², Е.В. Ветютнева²**

¹ АО Научный центр «Малотоннажная химия», ГК «ЭКОС-1»

² ГК «ЭКОС-1», Москва

³ ООО НПФ «ТРАВЕРС», Москва

Применение ингибиторов солеотложения в водооборотных системах является частью организованного на данном предприятии водно-химического режима (ВХР). Главной целью налаженного ВХР является обеспечение надежной и безопасной работы тепло-технического и холодильного оборудования, а также трубопроводов систем оборотного охлаждения в течение срока службы [1-3]. Это достигается за счет того, что реагентная обработка позволяет соблюдать установленные нормы требований к качеству воды, подаваемой на производственные нужды. В системах водоснабжения с последовательным прямоточным использованием воды такие требования сводятся к отсутствию образования карбонатных отложений, отсутствию коррозии и биологических обрастаний теплообменных аппаратов, сооружений, коммуникаций и оборудования [1-3]. С практической точки зрения это означает, что выбранный для данной водооборотной системы ингибитор солеотложения, помимо обеспечения отсутствия образования осадков малорастворимых соединений, не должен провоцировать образования коррозии и биологического обрастания оборудования.

Кроме того, важной особенностью работы антискаланта в реальных условиях является то, что в процессе эксплуатации обратная вода представляет собой *многокомпонентный раствор переменного состава*, который будет зависеть от коэффициента упаривания, качества подпиточной воды, местной экосистемы, вре-

мени года и т.д.

Новейшие исследования механизмов работы ингибиторов солеотложения [4-8], показали, что ключевую роль в процессе кристаллизации малорастворимых соединений играют примесные частицы малых размеров («нано/микрочастицы»), наличие которых в реальных оборотных водах не вызывает никакого сомнения [9]. Это означает, что образование отложений в оборотной воде всегда происходит как гетерогенный процесс, индуцируемый частицами «нано/микрочастицы» на стадии зарождения твердой фазы неорганической соли, когда уровень насыщения для нее превышен [4-8]. Таким образом, при организации водно-химического режима необходимо также учитывать наличие указанных частиц в водооборотной системе и с учетом этого выбирать наиболее эффективный ингибитор, способный работать в таких условиях.

Здесь стоит отметить, что сами примеси могут оказывать как каталитическое, так и ингибирующее действие на кристаллизацию. С этой точки зрения в кристаллизационной среде ингибитор солеотложения представляет собой ингибирующую процесс зарождения и роста примесь, а компоненты «нано/микрочастицы» – могут выступать в качестве нейтральных, катализирующих или ингибирующих процесс образования осадков малорастворимых соединений частиц в зависимости от своего состава. Результат взаимодействия общего количества примесных компонентов в системе определяет время наступления массовой кристаллизации и время жизни системы в пересыщенном состоянии (время индукции). Баланс сил в такой системе будет определяться, с одной стороны, способностью и интенсивностью «нано/микрочастицы» ускорять кристаллизацию малорастворимого соединения, а с другой стороны – способностью антискаланта экранировать такое каталитическое действие «нано/микрочастицы».

Любой перенасыщенный водный раствор неизбежно содержит набор различных твердых нанопримесей (гидрокси/оксиды железа, диоксид кремния, алюмосиликаты, гидрокси/оксиды алюминия, оксид марганца и т.д.), которые в разной степени способны служить потенциальными центрами (инициаторами) кристаллиза-

ции. Это явление наглядно демонстрирует, например, исследование влияния введенных наночастиц различного состава на процесс кристаллизации сульфата кальция в динамическом режиме при перемешивании со скоростью 300 об/мин (таблица 1). В условиях данного эксперимента оказалось, что при одинаковых мольных концентрациях частицы на основе оксидных соединений железа и алюминия ускоряют кристаллизацию сульфата кальция практически в 2 раза, в то время как частицы диоксида кремния практически не оказывают влияния на этот процесс.

Таблица 1 - Влияние содержания «нано/микрочастиц» различного состава на время индукции кристаллизации сульфата кальция из пересыщенного раствора при 25 °С

Нано/микрочастица,	Содержание нано/микро примеси		Время индукции, мин.
	мг/л	мкмоль/л	
Не вносилась	0	0	55±5
Диоксид кремния (SiO ₂)	0,30	5	55±5
гидроокись железа (FeOOH)	0,45	5	25±5
Оксид алюминия (Al ₂ O ₃)	0,51	5	25±5

Исходная концентрация сульфата кальция в растворе 0,05 моль/л, степень пересыщения раствора: 2.25; скорость перемешивания 300 об/мин; средний размер нано/микро примесей: гидроокись железа: 4 и 20 нм; SiO₂: 25 нм; Al₂O₃: 25 и 200 нм, время индукции измеряли по изменению электропроводности во времени

Специальное исследование лабораторных растворителей высокой чистоты на примере деионизированной воды и изопропанола методом лазерной ультрамикроскопии путем прямого подсчета частиц показало, что даже высокочистые реактивы содержат твердые наночастицы в существенных количествах - порядка 10⁵-10⁶ штук размером более 20 нм в 1 мл [8]. Кроме того, при добавлении к указанным растворам аминокислот с флуоресцентной

меткой (ADMP-F) было обнаружено селективное взаимодействие с разного типа частицами: один тип примесей эффективно адсорбировал ADMP-F, в то время как другие проявляли очень низкое сродство к этому антискалтанту, если вообще проявляли, и оставляли большую часть молекул ADMP-F «свободными» [8]. Анализ химического состава гетерогенных частиц позволил отнести их к частицам на основе диоксида кремния и гидроксо/оксидов железа (III) [8]. Представленное исследование [8] показывает, что антискалант блокирует не все типы наноразмерных примесей, а только те, которые имеют высокое к нему сродство [8].

Неспособность некоторых антискалантов избирательно блокировать все типы инородных примесей объясняет, почему в некоторых случаях эффективность ингибирования не достигает 100% при увеличении дозы антискаланта [10]. Аналогичным образом, синергизм различных смесей антискалантов может возникнуть из-за селективного блокирования одного вида примесей одним из этих ингибиторов образования накипи, в то время как другой изолирует остальные примеси. Если при этом рассмотреть влияние примесей, наиболее часто встречаемых в технологических водах, тогда можно получить композицию с максимальной эффективностью, стабильностью и минимальной себестоимостью. С точки зрения практического применения это означает, что при разработке составов новых ингибиторов для повышения их эффективности необходимо проводить тесты на устойчивость их действия в присутствии посторонних взвешенных частиц различной природы.

Используя такой подход, научной группой ГК «ЭКОС-1» была разработана линия ингибиторов солеотложения АМТЕК марки АП (ТУ 20.59.59-345-44493179-2025), содержащих синергетические смеси фосфонатов и поликарбоксилатов различной модификации, позволяющих эффективно работать в присутствии наночастиц оксидных соединений железа, диоксида кремния, оксигидроксидов алюминия и т.д.

При проведении тестирований существует ряд проблем при переходе от лабораторных испытаний ингибиторов к промышленным [7]. И до сих пор остаётся открытым вопрос о том, почему

эффективность ингибиторов солеотложения, определённая по результатам лабораторных экспериментов, не всегда воспроизводится при их испытаниях на реальных промышленных объектах при, казалось бы, одинаковых условиях тестирования (химический состав воды (в т.ч. жесткость и щелочность), pH, температура и т.д.) [7]. Мнение исследователей сходится на том, что ни один тест не способен оценить влияние всех параметров сразу. Следовательно, сочетание различных видов испытаний позволит более обоснованно полагаться на результаты таких исследований [7]. Поэтому для получения достоверных результатов тестирование новых ингибиторов проводили сначала на примере ингибирования процесса кристаллизации сульфата кальция из пересыщенных растворов, как в статических, так и в динамических условиях с добавлением посторонних частиц и без них. После этого тестирование наиболее эффективного ингибитора проводили на подпиточной воде в условиях, моделирующих работу исследуемой водооборотной системы, и после этого приступали к проведению опытно-промышленных испытаний (ОПИ).

В качестве объекта для проведения ОПИ была выбрана водооборотная система участка перегонки химического предприятия АО «ЭКОС – 1». Вода для подпитки и обеспечения работы системы поставляется из подземных источников организацией ГУП МО «КС МО» «Ногинские распределительные сети водоснабжения». Общий объем воды в системе - 4 м³, расход оборотной воды через градирню - 23 м³/час. Характерной особенностью данного объекта является относительно высокое содержание железа в подпиточной воде (1-2 мг/л). По результатам лабораторных испытаний (таблица 2) для такого случая наилучшим образом подходит АМТЕК АП-2. В условиях лабораторных испытаний указанный ингибитор проявляет более высокую эффективность относительно классических ингибиторов на основе полиакрилата натрия Аметек РО-2 и ортофосфонатов (АМИНАТ К) при меньшей рабочей концентрации.

Таблица 2 – Результат динамического эксперимента в присутствии введенных нано/микропримесей при 25 °С

Нано/микропримесь	Концентрация примеси, мг/л	Наименование ингибитора	Концентрация ингибитора, мг/л	Время индукции, минуты
Не вносилась	0	0	0	<2
Не вносилась	0	Аминат К	10	170±10
гидроокись железа	0,5		10	80±5
	1		10	40±3
Диоксид кремния	10		10	100±10
Не вносилась	0	Аметек РО-2	10	209±15
гидроокись железа	0,5		10	35±5
	1		10	20±5
Диоксид кремния	10		10	170±10
Не вносилась	0	Аметек АП-2	10	более 8 часов
Не вносилась	0		7,5	210±10
гидроокись железа	1			99±10
Диоксид кремния	10			более 5 часов
Степень пересыщения раствора гипса: 3.9; средний размер нано/микро примесей: гидроокись железа: 4 и 20 нм; SiO ₂ : 25 нм; время индукции измеряли по изменению электропроводности				

При проведении ОПИ поддерживали концентрацию АМТЕК АП-2 в количестве 4 мг/л по активному веществу. Для обеспечения отсутствия биообрастаний проводили дозирование биоцидов по следующей схеме: одну неделю 2 раза по 100 мг/л Аминат БИТ-7, на следующую неделю – Аминат БДБ 2 раза по 100 мг/л. Кроме того проводили также контроль коррозии по купонам, изготовленных из стали марки Ст 20. Один купон был установлен в баке сбора горячей воды, а второй – в баке сбора холодной воды. ОПИ проводили на протяжении 30 рабочих дней с 01 по 30 апреля 2025 года. За это время был обеспечен безнакипный режим работы водооборотной системы, уровень коррозии оставался в пределах нормы (0,05 мм/год), а процессы

биообрастания были купированы. На основании полученных данных АМТЕК АП-2 рекомендован в качестве ингибитора солеотложения водооборотных систем, т.к. он соответствует всем необходимым требованиям для данного типа воды.

Список литературы

1. Кучеренко Д.И. Обратное водоснабжение: (Системы водяного охлаждения) // Д.И. Кучеренко, В.А. Гладков - Москва: Стройиздат, 1980. – 168 с.
2. Абрамов Н.Н. Водоснабжение. Учебник для вузов. Изд. 2-е перераб. И доп. М., Стройиздат, 1974. 480 с.
3. Когановский А.М., Семенюк В.Д. Обратное водоснабжение химических предприятий. – Киев: Будівельник, 1975 – 232 с.
4. M. Oshchepkov, S. Kamagurov, S. Tkachenko, A. Ryabova, K. Popov An Insight into the Mechanisms of the Scale Inhibition. A Case Study of a Novel Task-specific Fluorescent-tagged Scale Inhibitor Location on Gypsum Crystals // ChemNanoMat, 2019, 5, p. 586-592.
5. Oshchepkov M., Popov K., Kovalenko A., Redchuk A., Dikareva J. and Pochitalkina I. Initial Stages of Gypsum Nucleation: the role of “Nano/microdust”. Minerals. 2020. V. 10. P. 1083.
6. Ощепков М. С., Рудакова Г. Я., Ткаченко С. В., Ларченко В. Е., Попов К. И., Тушева М. А. Современное состояние теории действия ингибиторов солеотложений (обзор). Теплоэнергетика. 2021. № 5. С. 43–55.
7. Ощепков, Максим Сергеевич. Разработка технологии получения и исследование новых флуоресцирующих ингибиторов солеотложения для водооборотных систем и установок обратного осмоса : диссертация ... доктора химических наук. — Москва, 2021. — 276 с.
8. Popov K., Vainer Y., Silaev G., Kuryakov V., Trukhina M., Koltinova E., Trokhin V., Oshchepkov M., Butakova M., Oshchepkov A. Potential Nano/Microcenters of Crystal Nucleation in Reagent-Grade Purity Solvents and Their Differentiation by Fluorescent-Tagged Antiscalant // Crystals. – 2024. – Vol. 14. – №. 7. – P. 650.
9. Popov K., Oshchepkov M., Kovalenko A., Redchuk A., Dikareva J.,

- Pochitalkina I. Scale nucleation natural precursors: a case study of “micro/nanodust” impurities nature in laboratory aqueous samples obtained from Moscow tap water. *Int. J. Corros. Scale Inhib.* 2020. V. 9, № 3, pp.1097–1112.
10. Popov K., Trukhina M., Tkachenko S., Oshchepkov M. A Critical Review of Relative Scale Inhibition Performance of Different Alternatives// *Industrial Scale Inhibition: Principles, Design, and Applications.* – 2024. – С. 72.

Егошина Ольга Вадимовна
Кандидат технических наук.
Доцент кафедры теоретических основ
теплотехники ТОТ НИУ «МЭИ».



Тема диссертации и автореферата по ВАК РФ 05.14.14: «Разработка систем автоматического дозирования корректирующих реагентов и анализ водно-химических переходных процессов на ТЭС».

Награждена Почётной грамотой НИУ «МЭИ» за плодотворную деятельность по подготовке высококвалифицированных специалистов, большой вклад в развитие университета и в связи с празднованием 90-летия ИТАЭ.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ КОНСЕРВИРУЮЩИХ РЕАГЕНТОВ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К КОНСТРУКЦИОННЫМ МАТЕРИАЛАМ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Егошина О.В., Большакова Н.А., Григорьев М.Д.
ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», Москва,
YegoshinaOV@mpei.ru

Одной из причин снижения эффективности и надежности работы основного и вспомогательного оборудования на тепловых электростанциях (ТЭС) являются коррозионные процессы, протекающие в пароводяном тракте электростанции [1-3]. Повреждение оборудования вследствие стояночной коррозии металла пароводяного тракта в теплоэнергетике помимо снижения экономичности работы энергоблока ТЭС может являться причиной серьезных аварийных разрушений. Противокоррозионная обработка, направленная на защиту от стояночной коррозии, выполняется в процессе консервации. Применяемые на сегодняшний день традиционные способы консервации в соответствии с условиями их реализации предполагают, как правило, предварительную очистку защищаемых поверхностей нагрева от отложений и продуктов коррозии [4,5]. Из-за технологических сложностей и целого ряда других причин зачастую защита поверхностей оборудования от коррозии на период простоя осуществляется без их предварительной очистки, что приводит к значительному снижению эффективности применяемых способов консервации. Широкое распространение для коррекции качества воды и пара, отмывки поверхностей нагрева и консервации оборудования во время простоя получили комплексные реагенты на основе пленкообразующих аминов. Преимущество аминоксодержащих реагентов связано с образованием защитной пленки на поверхностях теплообмена.

Высокие требования к уровню эксплуатационной надеж-

ности приводят к необходимости использования строго регламентированных действующими руководящими документами методов консервации. В то же время действующие правила технической эксплуатации не препятствуют выбору технологических режимов и их уточнению силами специализированных организаций [6,7].

В таком случае актуальным вопросом на сегодняшний день остается вопрос защиты основного и вспомогательного оборудования от атмосферной или стояночной коррозии, возникает необходимость в поиске наиболее эффективных методов с современными и доступными реагентами для консервации энергетического оборудования энергоблока.

Руководящие документы, регламентирующие оценку состояния внутренних поверхностей теплоэнергетического оборудования [8] и описывающие методику консервации, требуют, в зависимости от условий:

- описание состояния поверхности металла с отложениями и после их снятия;
- определение геометрических размеров и плотности (число на единице площади поверхности) коррозионных повреждений;
- оценку гидрофобности и содержания ингибитора в защитной пленке (для пленкообразующих аминов).

Оценка защитных свойств ингибиторов коррозии базируется на применении двух критериев [9, 10]:

- степень защиты (Z) характеризующая полноту подавления коррозии (%):

$$(1) \quad Z = \frac{i - i'}{i} \cdot 100\%,$$

где i , i' – показатели скорости коррозии незащищенного и защищенного ингибитором металла, соответственно;

- коэффициент торможения (K_{τ}), показывающий, во сколько раз уменьшается скорость коррозии в результате применения ингибитора:

$$(2) \quad K_{\tau} = \frac{i}{i'}$$

Оценка эффективности проведенной консервации ингибитором на основе пленкообразующих аминов производится с целью определения качества защитной пленки на поверхности металла. Основным и наиболее простым является «капельный» метод оценки гидрофобности поверхности металла и качества защитной пленки.

Оценка гидрофобности определяется путем нанесения капли жидкости на внутреннюю поверхность образца. Свойство гидрофобности является проявлением защитных свойств металла, как правило, в низкотемпературной части тракта ТЭС (30–200 °С). Защитный эффект при использовании аминоксодержащих реагентов для консервации обеспечивается за счет создания на внутренних поверхностях оборудования молекулярной адсорбционной пленки. В связи с этим величина удельной сорбции полиамина должна составлять не менее 0,3 мкг/см², что является достаточным уровнем антикоррозионной защиты оборудования для вывода его в средний или капитальный ремонт либо в длительный резерв (более 6 месяцев).

Анализ удельной сорбции пленкообразующего амина на консервируемых поверхностях оборудования, вырезках образцов труб и индикаторах коррозии проводится по окончании мероприятий по консервации и является количественным показателем эффективности защитного действия амина.

В таблице 1 представлен перечень критериев оценки эффективности консервации на основании нормативных документов, используемых для консервации.

Таблица 1 – Критерии оценки эффективности консервации оборудования

№	Нормативный документ	Тип консервирующего реагента	Критерий оценки эффективности
1	РД 34.20.591-97 Методические указания по консервации теплоэнергетического оборудования	Гидразин, Трилон Б, Фосфаты, Щелочные растворы, Азот, контактные ингибиторы	Формирование защитной пленки на поверхности металла
2	РД 34.20.596-97 Методические указания по консервации тепломеханического оборудования с применением пленкообразующих аминов	ОДА	Качество защитной пленки на поверхности металла (органолептическим и химико-аналитическим методами)
3	СТО 27-001-2020 Методические указания по организации полиаминного водно-химического режима барабанных энергетических котлов и котлов-утилизаторов	Хеламин	Качество защитной пленки на поверхности металла в период дозирования реагента
4	СТО ОРГРЭС 37-003-2016 Методические указания по консервации реагентом «Эмикор» тепломеханического оборудования тепловых электростанций	Эмикор	Качество защитной пленки на поверхности металла:
5	СО 34.37.535-2004 Инструкция по коррекционной обработке комплексным реагентом EPURAMIN (Эпурамин) теплоносителя котлов давлением 2,4 - 13,8 МПа	Эпурамин	Гидрофобность защитной пленки на поверхности металла
6	СТО 00129840.34.37.010-2017 Проведение очистки, консервации и ведение водно-химического режима на основе аминоксодержащего реагента марки «Втиамин КР-33» (Втиаминный ВХР)	ВТИАМИН	Стойкость защитной пленки на поверхности металла

Показателем успешности проведения консервации является отсутствие в барабане шлама, следов коррозии, наличие защитной барьерной пленки на поверхности металла и удельной сорбции полиаминов не менее 0,3 мкг/см².

Проверка эффективности противокоррозионных свойств консервирующих реагентов в условиях имитации консервации поверхностей нагрева проводилась в лабораторных условиях с выбором наиболее эффективных реагентов по защитной способности ингибитора. Были исследованы конструкционные материалы, применяемые на тепловых электростанциях: сталь 20, нержавеющая сталь. Интерес представляли ингибиторы коррозии, широко применяемые на теплоэнергетических объектах в Российской Федерации в качестве консервантов: ингибитор 1 с массовой долей пленкообразующего амина ((Z)-N-Октадец-9-енилпропан-1,3-диамин) в исходном растворе до 10 %; ингибитор 2 с массовой долей пленкообразующего амина (1-аминооктадекан) до 20 %; ингибитор 3 с массовой долей карбогидрида до 10 %.

В таблице 2 представлено описание образцов после обработки пластин из стали 20 ингибитором 1 в статических условиях при температуре 60 °С в течение 24 ч.

Таблица 2 – Описание образцов из стали 20 после обработки ингибитором 1.

№	Фото образца	Концентрация ингибитора в растворе, мг/л	Налет продуктов коррозии
1		10	На основной поверхности (особенно слева) заметен матовый потускневший слой, характерный для тонкой равномерной оксидной плёнки. В некоторых местах заметны единичные мелкие вкрапления особенно в средней части.
2		50	На поверхности заметны глубокие точечные повреждения, характерные для питтинга. Характер повреждений свидетельствует о неравномерном распределении коррозионных процессов.
3		100	На поверхности отчетливо видны многочисленные ямки и углубления различной глубины и размера, что характерно для питтинговой коррозии, возникающей при разрушении пассивного слоя металла.
4		200	На поверхности фиксируются отдельные ямки и углубления различной формы и глубины, характерные для питтинговой коррозии, возникающей вследствие локального разрушения пассивного слоя металла под воздействием агрессивных ионов.

В результате лабораторных исследований ингибитора 1 (таблица 2) установлено, что в статических условиях при температуре 60 °С введение консервирующего реагента в концентрации 10 мг/л не обеспечивает положительного защитного эффекта, как видно на образце 6 из стали 20. На поверхности фиксируются признаки коррозионных повреждений. Однако при увеличении концентрации реагента до 50, 100 и 200 мг/л наблюдается улучшение коррозионной стойкости металла, что выражается в уменьшении площади и интенсивности локальных очагов разрушения.





Таблица 3 – Оценка защитных свойств ингибитора коррозии 1 применительно к стали 20

№ п/п	Концентрация ингибитора, мг/дм ³	масса образца, г		характеристики металла, ингибитора	
		до термостата	после термостата	скорость коррозии, г·м ⁻² ·ч ⁻¹	степень защиты, %
1	10	11,1451	11,1424	0,0703	20,5650
2	50	11,1524	11,1498	0,0677	23,5028
3	100	11,2899	11,2877	0,0573	35,2542
4	200	11,2854	11,2846	0,0208	76,4982

Исходя из данных табл. 3 видно, что степень защиты увеличивается пропорционально концентрации ингибитора в растворе. Скорость коррозии снижается в 3 раза, при этом степень защиты увеличивается в 3,5 раза с увеличением концентрации ингибитора в 20 раз.

В таблице 4 представлено описание образцов после обработки пластин из нержавеющей стали ингибитором 1 в статических условиях при температуре 60 °С в течение 24 ч.

Таблица 4 – Описание образцов из нержавеющей стали после обработки ингибитором 1

№	Фото образца	Концентрация реагента, мг/л	Налет продуктов коррозии
1		10	Без видимых изменений от исходного состояния.
2		50	Без видимых изменений от исходного состояния.
3		100	Без видимых изменений от исходного состояния.
4		200	Без видимых изменений от исходного состояния.

Как видно из таблицы 4, наличие в растворе ингибитора 1 в концентрациях 10, 50, 100, 200 мг/дм³ не приводит к видимым изменениям на поверхности металла. Пластины из нержавеющей стали после эксперимента не имеют признаков коррозионных повреждений, т.е. на скорость коррозии влияние оказывает состав металла. Для стали 20 важно значение концентрации реагента.

Аналогичные результаты получены в период испытаний образцов различных конструкционных материалов с ингибиторами 2, 3. Проведенные испытания ингибитора 2 для стали 20 показали, что повышение концентрации реагента от 6 до 200 мг/дм³ способствует значительному снижению интенсивности коррозии. При низких концентрациях фиксируются отдельные очаги налета, но увеличение дозы приводит к формированию более равномерной защитной пленки и уменьшению выраженности коррозионных повреждений, что подтверждается результатами визуального анализа, изменением массы и удельной сорбции.

Испытания ингибитора 3 для стали 20 показали, с увеличением концентрации реагента наблюдается снижение интенсивности коррозии и уменьшение выраженности налета продуктов коррозии. При низких концентрациях отмечаются отдельные зоны коррозии, однако в более концентрированных растворах зоны коррозии уменьшаются, что указывает на формирование эффективного защитного слоя и повышение ингибирующей способности реагента.

Таким образом, результаты исследований защитных свойств ингибиторов коррозии в статических условиях показали, что концентрация ингибитора оказывает влияние на коррозионную защиту стали 20, но практически не влияет на нержавеющую сталь. Данные результаты подобны для трех исследуемых типов ингибиторов коррозии.

Список литературы

1. W. Jerzykiewicz, M. Kozupa, «Anticorrosive preparations for correction of water-steam and water heater cycles», Corrosion.1996

- Theory and Practice. Vol. 2 Gdansk Poland 17-20 Sept. 1996. pp. 505-508, (1996).
- 2. H. Duisters, J. Savelkoul «Corrosion Damage in Waster heat boilers: major root causes and remediation», Ammonia Technical manual 93- 102 (2005).
- 3. Т.И. Петрова, В.Н. Воронов Физико-химические процессы в водном теплоносителе электростанций. Москва, Издательство МЭИ. 2021.
- 4. Вдовенко Д.Ю., Запорожцев В.А., Посохов А.И. Консервация энергетических паровых котлов // Евразийский научный журнал. 2015. № 11. с. 1-5.
- 5. Овечкина, О.В. Консервация теплоэнергетического оборудования // Газотурбинные технологии. 2023. № 2 (191). С. 32-33.
- 6. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей РФ. Приказ Минэнерго России от 04.10.2022, № 1070, 202 с.
- 7. ГОСТ Р 71488-2024 Тепловые электрические станции. Теплоэнергетическое оборудование. Водно-химический режим. Нормы и требования. Национальный стандарт Российской Федерации, 34 с.
- 8. Сборник руководящих указаний по коррекционным обработкам питательной, котловой и химочищенной воды, химзащите и консервации теплотехнического оборудования. М.: НПО Техэнергохимпром, 1985.
- 9. Брегман Дж. Ингибиторы коррозии. М.: Изд-во Химия, 1966.
- 10. Жук Н.П. Курс теории коррозии и защиты металлов. М.: Изд-во Металлургия, 1976.

Первов Алексей Германович
доктор технических наук, профессор.



Автор более 500 научных статей и докладов, посвященных совершенствованию мембранных установок обратного осмоса, нанофильтрации, ультрафильтрации, используемых в системах питьевого и технического водоснабжения.

Генеральный директор компании ООО «УОТЕРЛЭБ», осуществляющий внедрение инновационных технологий, позволяющих повысить надежность мембранных систем и радикально сократить расходы концентратов. Профессор кафедры ВиВ НИУ МГСУ.

НОВЫЕ РЕШЕНИЯ ПО СОЗДАНИЮ МЕМБРАННЫХ СИСТЕМ ВОДОПОДГОТОВКИ БЕЗ ПРИМЕНЕНИЯ РЕАГЕНТОВ.

Посвящается памяти Галины Яковлевны Рудаковой

А.Г. Первов, Д.В. Спицов, Т.Н. Ширкова, Тет Зо Аунг, А.С. Кулагина, М.И. Саид Ахмад
ФГБОУ ВО НИУ МГСУ, кафедра Водоснабжения и водоотведения, Москва

Мембранный метод обратного осмоса находит все более широкое применение при решении задач по очистке природных и сточных вод для целей питьевого и технического водоснабжения, а также осуществления природоохранных мероприятий. Но при этом масштабы применения мембран в области очистки воды сдерживаются проблемами надежности работы установок, высокими затратами на их эксплуатацию, нерешенными проблемами с утилизацией концентратов.

Авторами проведены исследования по разработке нового подхода к проектированию и эксплуатации систем подготовки питьевой и технической воды из подземных и поверхностных источников, а также очистки бытовых и поверхностных сточных вод, опреснения морской воды, очистки фильтратов полигонов хранения твердых коммунальных отходов. Основной принцип совершенствования мембранных технологий состоит в замене ступеней с обратноосмотическими мембранами с высокими значениями селективности по ионам солей на две или три ступени с низкоселективными нанофильтрационными мембранами. Такой подход позволяет сократить, и в ряде случаев ликвидировать проблему образования на мембранах осадков малорастворимых солей (карбоната и сульфата кальция), а также осадков органических веществ, образующих цветность и ХПК, коллоидных и взвешенных веществ. Использование ступенчатых схем с нанофильтрационными мембранами с низкой селективностью по солям позволило создать технологии, позволяющие:

1. Сократить эксплуатационные затраты (на ингибиторы осадкообразования и моющие реагенты).
2. Сократить расходы концентратов и предложить пути их утилизации.
3. Управлять ионным составом пермеата, изменяя соотношение концентраций одновалентных и двухвалентных ионов, что позволяет сократить расходы на кондиционирование очищенной воды.

Представлены результаты исследований, показывающие: изменение скоростей осадкообразования в зависимости от селективности мембран; изменение скоростей прироста гидравлического сопротивления мембранного канала; эффективности применения гидравлических промывок со сбросом давления; определения максимальной допустимой величины выхода пермеата (конверсии), при которой начинается зародышеобразование малорастворимых солей в потоке концентрата; эффективности разделения органических веществ и солей при сокращении расхода концентрата после очистки фильтратов ТКО; осаждение сульфата кальция из концентрата при опреснении морской воды с целью сокращения расхода концентрата, его утилизации и извлечения из него ценных компонентов.

На основании сравнительных испытаний определено, что наиболее эффективно для описанных целей могут быть применены мембраны серии «папоNF» – новая разработка компании «Мембраниум -РоснаноТех» (г. Владимир).

Приведены примеры разработанных авторами технологических схем для:

- подготовки питьевой воды из подземных источников без применения реагентов и с расходом концентрата менее 10 процентов;
- очистки поверхностных и дренажных сточных вод, а также бытовых сточных вод, прошедших биологическую очистку с получением умягченной технической воды для повторного использования и утилизацией концентрата;
- очистки фильтратов полигонов ТКО с сокращением расходов концентратов до величины, не превышающей 3% от расхода очищаемого стока;

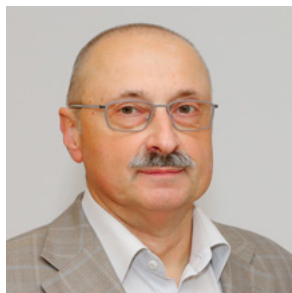
– опреснения морской воды с утилизацией концентрата (высаживанием сульфата кальция и получением концентрированных растворов хлорида натрия, сульфата и хлорида магния, концентрацией 15-20%, без применения реагентов).

Основные принципы создания технологий очистки, умягчения и обессоливания воды, а также глубокого концентрирования и утилизации концентратов с применением нанопермембран изложены в следующих публикациях.

Литература:

4. Alexei Pervov // Membranes.2022, 12(9):852. doi:10.3390/membranes12090852.
5. Nor Naimah Rosyadah Ahmad, Wei Lun Ang, Yeit Haan Teov, Abdul Wahab Mohammad, Nidal Hilal // Journal of Water Process Engineering, 2022, V. 45, 102478. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102478>.
6. Abdul Wahab Mohammad, Nidal Hilal, Naif Darwish, Habis Al-Zoubi // Journal of Membrane Science, 289(1):40-50, DOI:10.1016/j.memsci.2006.11.035.
7. Turek M., Mitko K., Dydo P., Laskovska E., Jacobic-Kolon A. // Desalination.2018.v.425.pp.130-155. DOI:10.1016/j.desal.2017.10.018.

Громов Сергей Львович
доцент НИУ «МЭИ»,
кандидат технических наук, с.н.с.



Окончил Московский институт химического машиностроения (МИХМ) по специальности «Машины и аппараты производств особо чистых химических веществ» в 1981 г., а в 1986 там же защитил кандидатскую диссертацию по специальности «Процессы и аппараты химической технологии».

С 1981 по 1994 г.г. во Всесоюзном научно-исследовательском институте химических реактивов и особо чистых химических веществ «ИРЕА» прошел путь от инженера до заведующего сектором процессов фильтрования.

С 1994 по 2003 г.г. работал в Московском представительстве компании Dow Chemical (США) в должности руководителя отделения техники очистки жидкостей по СНГ (ионообменные смолы, мембраны и технологии их применения).

В 2003-2012 г.г. заместитель генерального директора по исследованиям и развитию НПК «Медиана-Фильтр».

В период с 2012 по 2020 г.г. – генеральный директор ООО «АКВА-РЕКОН» (консалтинг в области водоподготовки, очистки стоков и общей проблематики по «Процессам и аппаратам химической технологии»).

С 2018 г. читает лекции в магистратуре МЭИ по курсам «Основы гидрокинетики и гидромеханические процессы разделения», «Ионообменные смолы и технологии для водоподготовки», «Технологии мембранного разделения для очистки воды».

Автор двух книг (одна из них – учебник по водоподготовке в энергетике), более чем 70 публикаций в научной периодике и свыше 50 изобретений (авторских свидетельств и патентов).

ИОННЫЙ ОБМЕН ИЛИ ОБРАТНЫЙ ОСМОС: ПРЕДПОЧТЕНИЯ ДЛЯ ВОДОПОДГОТОВКИ

Громов С.Л.
ФГБОУ НИУ «МЭИ», Москва
E-mail: slgromov@mail.ru

На протяжении последних 50 лет неоднократно предпринимались попытки дать ответ на вопрос, какая из технологий предпочтительнее для применения в целях водоподготовки: ионный обмен (ИО) или обратный осмос (ОО) [1-14]?

При этом рассматривались, главным образом, задачи, касающиеся получения обессоленной воды, а в качестве основного критерия, определяющего выбор метода обработки, принималось значение солесодержания исходной воды. Результатом подобных оценок являлись графики, отражающие зависимость значения «удельных эксплуатационных затрат» (или себестоимости) обессоленной воды от показателя интегрального солесодержания исходной воды, поступающей на водоподготовительную установку (ВПУ). Точка пересечения графиков, построенных для ИО и ОО, характеризовала «точку экономического равновесия» (ТЭР) - область значений солесодержания исходной воды, для которой «удельные эксплуатационные затраты» на обессоливание обоими методами оказывалась приблизительно одинаковыми (Рис. 1 [10]).

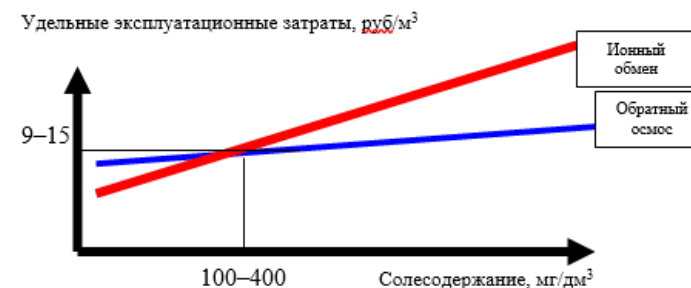


Рис. 1. «Точка экономического равновесия (ТЭР) удельных эксплуатационных затрат» при применении обратного осмоса и ионного обмена [10]

Сравнений экономической эффективности ВПУ, использующих тот или иной метод обессоливания, в отечественной литературе встречается немало [10-14]. Наиболее привлекательной, как правило, оказывалась технология, используемая авторами соответствующей статьи в силу маркетинговой направленности публикаций, различия спектров показателей, использованных для технико-экономических расчетов, субъективности оценок стоимости применяемого оборудования и реагентов, а также условий, для которых проводился анализ (источники водоснабжения, затраты на подготовку перед основной стадией обессоливания и т.д.), и, самое главное - отсутствия однозначно сформулированных требований к качеству обессоленной воды.

А ведь даже в соответствии с отечественными ПТЭ объектов энергетики [15] требования к качеству обессоленной воды могут варьироваться в весьма широких пределах (Таблица 1). Следует также отметить, что ОО не в состоянии обеспечить сопоставимую с ИО степень удаления лимитируемых ионов, а ИО не способен конкурировать с ОО по глубине очистки обрабатываемой воды от органики, коллоидных частиц и микроорганизмов.

Таблица 1. Нормы качества добавочной воды для оборудования ТЭС

Наименование показателя	Единицы измерения	Тип оборудования		
		Барабанный котел с естественной циркуляцией (13,8 МПа)	Прямоточный котел	ПГУ
Жесткость общая, Ж _о	мкг-эquiv/дм ³	≤ 1	≤ 0,2	не нормируется
Содержание кремниевой кислоты, C _{SiO2}	мкг/дм ³	≤ 100	≤ 20	≤ 5 (20)
Содержание натрия, C _{Na}	мкг/дм ³	≤ 80	≤ 15	≤ 10
Удельная электрическая проводимость, УЭП	мкСм/см	≤ 2	≤ 0,5	≤ 0,1 (0,3)
Общий органический углерод	мкг/дм ³	не нормируется	не нормируется	≤ 100 (200)

Поэтому значительно большей степенью объективности и полноты охвата факторов, способных повлиять на результат, отличались оценки, публиковавшиеся за рубежом. И среди них, прежде всего, заслуживают внимания те, которые были выполнены специалистами The Dow Chemical Company – единственной компании в мире, в номенклатуре продукции которой на протяжении почти 40 лет были представлены как иониты, так и обратноосмотические и нанофильтрационные мембраны, а потому, во-первых, отсутствовали риски необъективного подхода к оценке возможностей ИО или ОО, во-вторых, технические решения всегда увязывались с достижением определенных показателей качества обессоленной воды и, в-третьих, обязательно рассматривались ВПУ, сочетающие достоинства обеих упомянутых выше технологий.

Так в [6] указывалось, что ТЭР между ИО и ОО находится в области значений солесодержания исходной воды около 75 мг/дм³ по CaCO₃ для случая получения обессоленной воды с остаточной электропроводностью не более 0,1 мкСм/см при сравнении принципиальных технологических схем ВПУ, приведенных на Рис. 2 и Рис. 3.

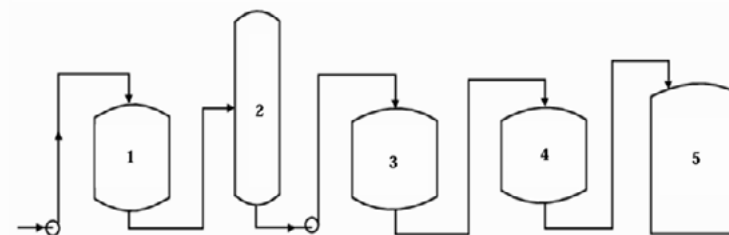


Рис. 2. Принципиальная технологическая схема ИО [6,7] 1 – фильтр с сильнокислотным катионитом; 2 – декарбонизатор; 3 – фильтр с сильноосновным анионитом; 4 – ФСД; 5 – бак обессоленной воды

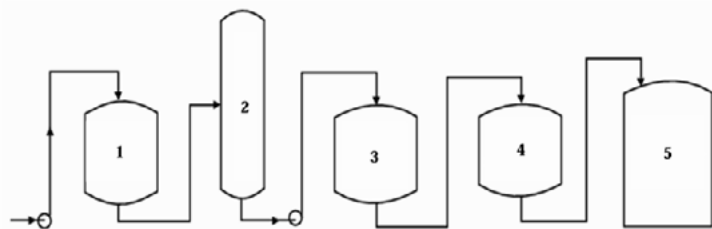


Рис. 2. Принципиальная технологическая схема ИО [6,7]
1 – фильтр с сильнокислотным катионитом; 2 – декарбонизатор; 3 – фильтр с сильноосновным анионитом; 4 – ФСД; 5 – бак обессоленной воды

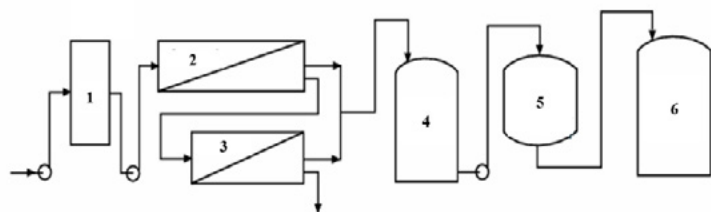


Рис. 3. Принципиальная технологическая схема ОО+ИО [6,7]
1 – микрофильтр, 5 мкм; 2 и 3 – одноступенчатый ОО (2 - первая стадия/каскад, 3 – вторая стадия/каскад); 4 – бак ОО-пермеата; 5 – ФСД; 6 – бак обессоленной воды

При этом в обоих случаях предусматривалась традиционная предподготовка - осветлитель в режиме коагуляции и механические фильтры с песчаной загрузкой. Исходная вода перед ОО подкислялась и в нее дозировался ингибитор осадкообразования малорастворимых солей. В качестве реагентов применялись серная кислота и щелочь. Срок службы сильнокислотного катионита ограничивался 5-ю годами, сильноосновного анионита и ОО мембранных элементов – 3-мя годами. Учитывались также затраты реагентов на нейтрализацию образующихся стоков (с целью обеспечения их pH 7).

Семь лет спустя авторский коллектив почти в том же составе, что и в [6], повторно проанализировал возможности ИО и ОО для задачи промышленного обессоливания воды [7]. Приняв во вни-

мание, однако, применение ионитов монодисперсного/однородного гранулометрического состава, как в установке ИО, так и для загрузки в ФСД в схеме ОО+ИО, а также мембранные элементы следующих поколений для комплектации ОО.

Выполненные оценки показали, что для условий эксплуатации, аналогичных [6], значение ТЭР между ИО и ОО+ИО возрастает почти в 2 раза, достигая показателя солесодержания исходной воды 130 мг/дм³ по CaCO₃.

Разумеется, оценки, приведенные в [6] и в [7], не были свободны от недостатков, главными из которых являлись неоптимальная структура схемы ИО для задач деминерализации воды и применение технологии проточной регенерации ионитов. Кроме того, ключевые параметры (например, тарифы на водоснабжение, водоотведение, электроэнергию, стоимость реагентов и т.п.), применявшиеся при проведении технико-экономических расчетов, базировались исключительно на показателях, характерных для рынка США того периода времени.

Поэтому авторами [8] была предпринята очередная попытка определения значения ТЭР, исходя из рационального выбора применяемых ионитов, реализации технологии их противоточной регенерации АПКОРЕ (в зажатом слое в направлении снизу-вверх), основанная на структуре цен и тарифов, действующих в Западной Европе, усреднении показателей качества исходной воды в региональных поверхностных источниках, а также оценок капитальных затрат, необходимых для создания ВПУ, полученных от нескольких инжиниринговых (ОЕМ – original equipment manufacturer) компаний. Кроме того, в публикации была проанализирована структура эксплуатационных затрат конкурирующих технических решений, учтены расходы, ассоциированные с водоснабжением и водоотведением (на нейтрализацию стоков и их обезвреживание перед выпуском) и влияние производительности ВПУ (50 м³/ч и 200 м³/ч) на положение ТЭР на шкале солесодержания исходной воды.

Предподготовка в рассмотренных вариантах ВПУ оставалась традиционной = осветлитель в режиме коагуляции в сочетании с механическим фильтрованием.

Обессоленная вода должна была характеризоваться значением остаточной электропроводности в пределах 0,1 мкСм/см и содержанием кремневки не более 10 мкг/дм³. Принципиальная технологическая схема варианта ВПУ ОО+ИО была идентична, представленной на Рис. 3, а принципиальная схема ИО, представленная на Рис. 4, при внешнем сходстве с Рис. 2 радикально отличалась применением в однокамерном анионитном фильтре послойной загрузки (так называемый вариант LBA – Layer Bed Anion) в составе слабоосновной макропористой смолы и сильноосновного гелевого анионита (само собой разумеется, что применяемые ионообменные смолы обладали монодисперсным грансоставом, а мембранные элементы для ОО относились к последнему из доступных на тот момент на рынке поколению).

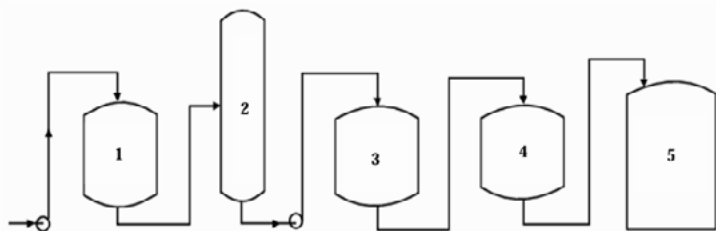


Рис. 4. Принципиальная технологическая схема ИО [8] 1 – фильтр с сильнокислотным катионитом; 2 – декарбонизатор; 3 – фильтр с LBA; 4 – ФСД; 5 – бак обессоленной воды

Для ИО рассматривались ВПУ, состоящие из одной технологической цепочки (Рис. 4) для производительности 50 м³/ч и двух цепочек (100% номинала каждая) для производительности 200 м³/ч. В качестве реагентов для регенерации использовались серная кислота и щелочь. ВПУ для ОО+ИО состояла из одной технологической цепочки (Рис. 3) для производительности 50 м³/ч и двух цепочек (каждая по 100 м³/ч) для производительности 200 м³/ч. Перед установкой ОО предусматривалось подкисление исходной воды, дозирование в нее ингибитора для минимизации рисков образова-

ния сульфатных отложений на поверхности мембран и применение стандартных 5 мкм патронных фильтров.

Как уже отмечалось выше, авторами [8] была проанализирована структура эксплуатационных затрат, присущих сравниваемым ВПУ. в Таблице 2 приведены результаты, характерные для установок ИО и ОО+ИО при производительности 50 м³/ч. Очевидно, что ключевыми отличиями в структуре эксплуатационных затрат при реализации рассматриваемых вариантов являются расходы на электроэнергию и воду (которые для варианта ИО ощутимо ниже), а также реагенты (которые для варианта ИО наоборот, существенно выше). Из чего следует вывод, что относительно низкие тарифы на электроэнергию стимулируют применение ОО, в то время как рост платежей за водопотребление и снижение стоимости реагентов благоприятствуют предпочтительному использованию ИО.

Результатом проведенного в [8] сравнения стал график, отображенный на Рис. 5, демонстрирующий расположение ТЭР между ИО и ОО+ИО в указанных выше условиях. Если обратиться к значениям соленосодержания, выраженным в мг/дм³ по СаСО₃ (как это было принято в [6, 7]), то окажется, что ТЭР лежит в области значений 350 - 400 мг/дм³.

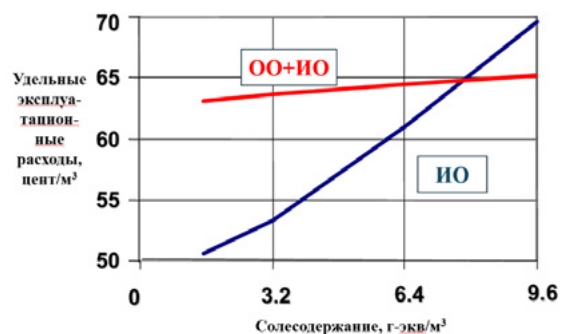
Таблица 2. Структура эксплуатационных затрат рассматриваемых вариантов для ВПУ 50 м³/ч при соленосодержании исходной воды 6,4 экв/м³

Наименование показателя	ОО + ИО	ИО
Вода, %	14	13
Реагенты, %	6	21
Электроэнергия, %	13	3
Зарплата, %	16	17
Обслуживание, %	10	9
Замена ионитов и/или мембранных элементов	8	6
Амортизация	33	31

Таблица 2. Структура эксплуатационных затрат рассматриваемых вариантов для ВПУ 50 м³/ч при солесодержании исходной воды 6,4 экв/м³

Наименование показателя	ОО + ИО	ИО
Вода, %	14	13
Реагенты, %	6	21
Электроэнергия, %	13	3
Зарплата, %	16	17
Обслуживание, %	10	9
Замена ионитов и/или мембранных элементов	8	6
Амортизация	33	31

Рис. 5. ТЭР между ИО и ОО + ИО (по данным [8])



Данные [8] свидетельствуют о том, что применение современных технических решений при использовании ИО для обессоливания воды приводит к существенной миграции расположения ТЭР в область более высоких значений солесодержания исходной воды по сравнению с результатами, опубликованными в [6,7]. Также стоит отметить, что согласно выводам авторов [8], с увеличением производительности ВПУ ТЭР демонстрирует тенденцию к смещению в направлении более низких значений солесодержания исходной воды: если для установки производительностью 50 м³/ч

она располагалась на отметке 8 г-экв/м³, то для установки производительностью 200 м³/ч сдвигается в область значения 7 г-экв/м³ (от 400 мг/дм³ к 350 мг/дм³ по СаСО₃ соответственно).

Со второй половины 90-х г.г. прошлого столетия в практику промышленной водоподготовки начали активно внедряться технологии ультрафильтрации и электродеионизации, что привело к появлению ВПУ, построенных на принципах интегрированных мембранных технологий (ИМТ) и их сочетаний/комбинаций с ИО [16]. Кроме того, в параллель с бурным развитием технологий мембранного разделения, появлением на рынке новых поколений листовых мембран и рулонных мембранных элементов в пресноводных источниках, доступных для промышленного использования, проявилась выраженная общемировая тенденция к ухудшению качества воды (рост общего солесодержания и количества разнообразных органических примесей, как природного, так и техногенного происхождения). И одновременно за последние четверть века значительно ужесточились требования к качеству обессоленной воды, что особенно наглядно проявляется за рубежом, где сегодня нередко можно столкнуться с лимитированием нежелательных ионов уже на уровнях нано- и пикограммов, наряду с ограничениями содержания общего органического углерода в пределах 50-100 мкг/дм³.

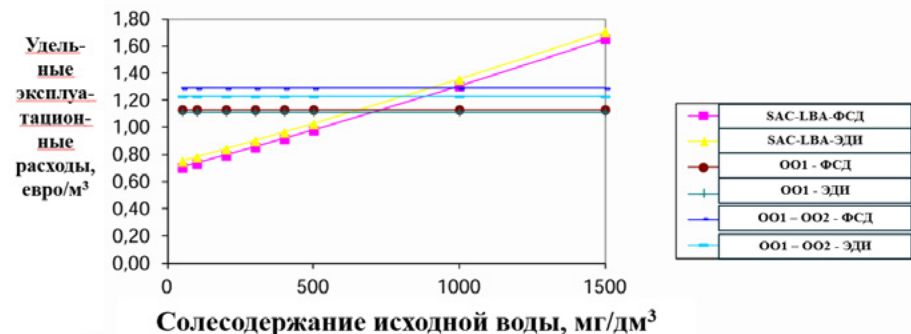
Соответственно, возникла потребность в корректировке оценок положения ТЭР на шкале солесодержания исходной воды. И такая потребность была реализована и представлена, в частности, в 2013 г. в презентационных материалах Marc Slagt, на тот момент времени старшего специалиста службы технической поддержки европейского отделения Dow Water Solutions (The Dow Chemical Company) [9]. М. Slagt оценил удельные эксплуатационные расходы на производство обессоленной воды с остаточной электропроводностью не более 0,06 мкСм/см в очень широком диапазоне значений солесодержания исходной (50-1500 мг/дм³) при использовании для стадий основной обработки перечисленных далее вариантов принципиальных технологических схем: ИО, ОО+ИО и ИМТ (в данном случае имеется в виду комбинация ОО и ЭДИ).

Проведенный М. Slagt анализ предполагал, что во всех слу-

чаях будут применяться одни и те же технологии и оборудование на предварительных этапах обработки воды, а потому затраты на подготовку окажутся приблизительно одинаковыми. Объемы капитальных затрат на основное и вспомогательное технологическое оборудование основной стадии обработки оценивались посредством усреднения стоимости коммерческих предложений на ВПУ (отвечающих определенному техническому заданию и полученных от нескольких OEM-партнеров).

Результаты оценок M. Slagt приведены на Рис. 6 и Рис. 7. Ужесточение требований к качеству обессоленной воды наряду с западноевропейским уровнем тарифов на электроэнергию, водоснабжение и водоотведение, а также стоимостью реагентов приводит к смещению ТЭР между ИО и ОО+ИО в область более высоких значений солености исходной воды (650-800 мг/дм³), причем при применении двухступенчатого ОО ТЭР обнаруживается около отметки 1000 мг/дм³.

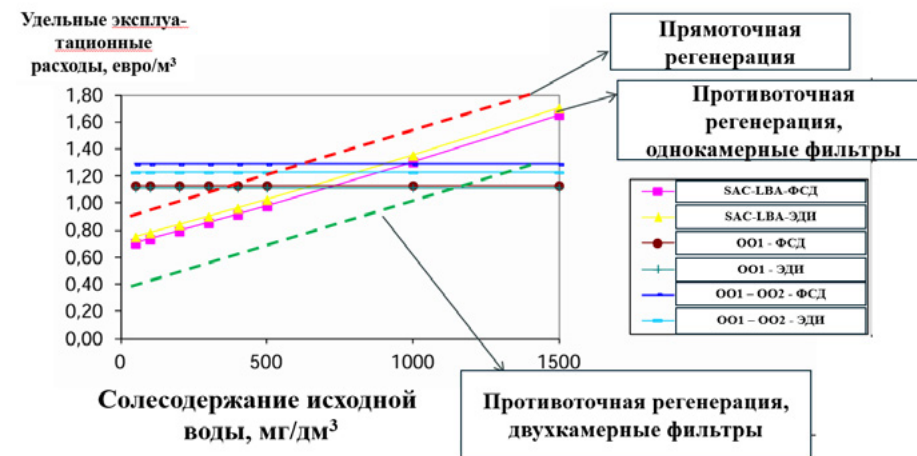
Рис. 6. Расположение ТЭР по данным [9]



Своими оценками M. Slagt продемонстрировал также, какое влияние оказывают на результаты технико-экономического сравнения выбор технологии регенерации ионитов, сочетаний применяемых ионообменных смол и конструктива фильтров, используемых для обессоливания воды. ТЭР может находиться в очень широком диапазоне значений солености исходной воды (приблизитель-

но от 400 мг/дм³ до 1200 мг/дм³, как показано на Рис. 7), в зависимости от того, как реализуется ИО.

Рис. 7. Область расположения ТЭР для разных вариантов ИО по данным [9]



Подводя итог усилиям, предпринимавшимся специалистами The Dow Chemical Company, следует отметить, что несмотря на объективность подходов и комплексный характер исследований им оказался присущ очень существенный недостаток, явившийся следствием стремления к максимальной объективности. Dow Chemical никогда не специализировалась на задачах проектирования или строительства ВПУ. Поэтому, как отмечалось выше, оценивала капитальные затраты на реализацию того или иного варианта, основываясь на усредненных показателях, взятых из коммерческих предложений OEM-компаний. А для OEM-ов ключевым фактором успеха в тендерных процедурах выступает критерий размера капитальных затрат на создание ВПУ. Чем они ниже, тем больше шансов победить в тендере, минимизировав цену предложения. Именно по этой причине ни в одном из упомянутых выше исследований не оценивалась опция комбинации обратного осмоса с противоточным ионным обменом, реализуемым по схеме Н – ОН, при рассмотрении варианта ОО + ИО. Последнее обстоятельство неудивительно,

если принять точку зрения OEM: капитальные затраты на схему ОО+ФСД будут заведомо ниже, чем на ОО+(Н–ОН) (хотя бы только потому, что в первом случае используется лишь один рабочий ионообменный фильтр, а во втором – не менее двух). Но для потребителя (т.н. end-user) ситуация выглядит совершенно иначе: эксплуатационные расходы в схеме ОО+ФСД будут ощутимо выше, чем в варианте ОО+(Н–ОН), хотя бы только в силу того обстоятельства, что для регенерации ФСД потребляются реагенты в количестве эквивалентном 3-4-х кратной стехиометрии, а при противоточной регенерации Н–ОН фильтров – в пределах 1,2-1,9 от стехиометрического соотношения. А согласно [8] доля эксплуатационных расходов в структуре себестоимости обессоленной воды находится на уровне 70-80%. Кроме того, не вполне корректным является подход, при котором «уравниваются» требования к качеству предподготовки (а, следовательно, и затраты, как эксплуатационные, так и капитальные) перед ОО и ИО. Как известно в общем случае ОО нуждается в более качественной (и, соответственно, более затратной) предварительной обработке исходной воды по сравнению с ИО.

За последнее двадцатилетие в практике отечественной промышленной водоподготовки мембранные технологии и ИМТ стали доминирующим трендом. И, к сожалению, в целом ряде случаев выбор в их пользу оказывается в большей степени данью моде, чем результатом беспристрастного технико-экономического анализа. Стремление получить объективные оценки расположения ТЭР при сравнении ВПУ, основанных на применении ИО и ОО + ИО при производстве обессоленной воды с остаточным значением электропроводности в пределах 0,1 мкСм/см в отечественных условиях эксплуатации, побудили О.А.Петрову провести соответствующие исследования в рамках выполнения магистерской диссертации [17] (рук. С.Л.Громов). В качестве исходной рассматривалась вода из поверхностных источников с солесодержанием в диапазоне 50-500 мг/дм³. Расчетная производительность ВПУ по обессоленной воде принималась равной 100 м³/ч. Стоимость основного и вспомогательного оборудования, применяемого для водоподготовки, оценивалась на основании данных компании НПК «Медиана-фильтр», облада-

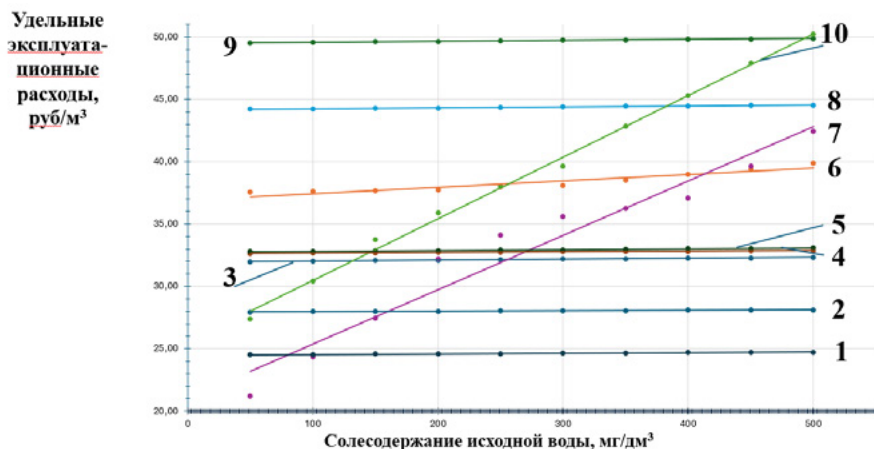
ющей самым богатым опытом создания соответствующих ВПУ в отечественной энергетике.

В [17] по аналогии с подходами, использованными в [6-9], затраты, связанные с приобретением/арендой земельных участков, производственных помещений или уплатой налогов во внимание не принимались.

Основная цель работы состояла в том, чтобы учесть влияние факторов предподготовки и отечественной специфики тарифов на ресурсы и материалы в сочетании с обязательным рассмотрением опции применения противоточного ионного обмена (Н – ОН) в качестве финишной стадии обработки обессоленной воды. Имеющийся отечественный опыт (РТС «Строгино», ПГУ ГТЭС «Щербинка») подтверждает, что при грамотной реализации технологии АПКО-РЕ на стадии финишной очистки пермеата после ОО не возникает проблем с обеспечением остаточного значения электропроводности обессоленной воды в пределах 0,1 мкСм/см. Для предподготовки исходной воды рассматривалось применение двух возможных вариантов: традиционная предочистка в составе осветлителя, работающего в режиме коагуляции в сочетании с механическим фильтрованием на песчаной или антрацитовой загрузке, и ультрафильтрация в сочетании с коагуляцией и предварительной обработкой воды на дисковых фильтрах.

В качестве основной обработки и финишной очистки в [17] оценивались технические решения на основе ИО, комбинации ОО + ИО, а также ИМТ. В составе ВПУ предусматривалось использование декарбонизаторов.

Рис. 8. Область расположения ТЭР для разных вариантов ВПУ по данным [17]



1 - **ОО+ИО** (Осв-МехФ-ОО-(Н-ОН)); 2 - **ОО+ИО** (Осв-МехФ-О-О-ФСД); 3 - **ОО+ИО** (Осв-МехФ-ОО1-ОО2-ФСД); 4 - **ИМТ+ИО** (УФ-ОО-(Н-ОН)); 5 - **ИМТ+ИО** (УФ-ОО-ФСД); 6 - **ИМТ+ИО** (УФ-ОО1-ОО2-ФСД); 7 - **ИО** (Осв-МехФ-(Н-ОН)-ФСД); 8 - **ИМТ** (Осв-МехФ-ОО1-ОО2-ЭДИ); 9 - **ИМТ** (УФ-ОО1-ОО2-ЭДИ); 10 - **ИО** (УФ-(Н-ОН)-ФСД)

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

- на современном этапе развития технологий и оборудования для ВПУ наиболее рациональным и экономически целесообразным выбором для получения обессоленной воды с остаточной электропроводностью $\leq 0,1$ мкСм/см является комбинация ОО с ИО, реализуемая с использованием противоточной регенерации Н – ОН фильтров (а применение при этом технологии АПКО-РЕ позволяет еще гарантировать высочайшие показатели надежности и технологической устойчивости технического решения);
- в рассматриваемых условиях отечественного рынка ТЭР между ИО и комбинацией ОО + ИО может находиться в диапазоне солевого содержания исходной воды от 50 мг/дм³ до 300 мг/дм³ при получении обессоленной воды с остаточной электропроводностью $\leq 0,1$ мкСм/см;

- при сравнении ИО с ИМТ ТЭР смещается в область более высоких значений солевого содержания исходной воды – от 500 мг/дм³ до 800 мг/дм³ (если экстраполировать ход графиков 7 и 9 на Рис. 8);
- во всех рассмотренных случаях подготовка, основанная на применении УФ, приводила к возрастанию эксплуатационных расходов на ВПУ по сравнению с аналогичными вариантами, в которых использовались традиционные решения (сочетание осветлителей с механическими фильтрами); УФ снижает экономическую эффективность применения ОО;
- использование двухступенчатого ОО и/или ЭДИ приводит к росту эксплуатационных затрат на ВПУ;
- выбор оптимальной технологической схемы ВПУ, предназначенной для получения обессоленной воды, должен проводиться при грамотном и объективном анализе всех факторов и условий реализации конкретного проекта с обязательным включением в список рассматриваемых вариантов стадии основной обработки, основанной на использовании комбинации одноступенчатого ОО и противоточного ИО.

Список литературы

1. Lefevre, L. Water Demineralization Using Reverse Osmosis and Ion Exchange// Technical Data Sheet Volume 8, Number 2, Dow Chemical USA, 1978
2. Coulter, B., Jones, G.D. The Application of Reverse Osmosis to Mexican Waters// paper presented at the First Mexican Conference, Mexico City, Mexico, February 20-22, 1980
3. Printz, J. Wainwright, R. Comparing Ion Exchange and Reverse Osmosis in the Electric Utility Industry, // paper presented at the American Power Conference, Chicago, IL, April 26 28, 1982
4. Little, D., Lefevre, L. The Economics of Reverse Osmosis and Ion Exchange// paper presented at the Water Supply Improvement Association, 10th Annual Conference, Honolulu, HI, July 27, 1982
5. Pittner, G., Levander, R., Bossler, J. Unique Double-Pass Reverse Osmosis System Eliminates Ion Exchange for Many Deionization Applications// ULTRAPURE WATER, September/October, 1986

6. Whipple, S., Ebach, E., Beardsley, S. The Economics of Reverse Osmosis and Ion Exchange// paper presented at the Ultrapure Water Conference and Exposition, Philadelphia, PA, April 13-15, 1987
7. Beardsley S.S., Coker S.D., Whipple S.S. The Economics of Reverse Osmosis and Ion Exchange// paper presented at WATERTECH Expo '94 November 9-11, 1994 Houston, Texas
8. Newell P. A., Wrigley S. P., Sehn P., Whipple S. S. An Economic Comparison of Reverse Osmosis and Ion Exchange in Europe// Proceedings of SCI Conference IEX '96, 15, July 1996
9. Slagt M. Ion Exchange Systems Technology// Presentation at Dow Water Solutions European Consultants Meeting, Salou, Spain, October, 2013
10. Громов С.Л., Пантелеев А.А. Современные технологии водоподготовки как средство снижения эксплуатационных расходов// Энергетик, 2012, № 10, с. 15-19
11. Громов С.Л., Пантелеев А.А. Опыт НПК Медиана-Фильтр по применению ИМТ и их комбинаций с ионным обменом для водоподготовки// Материалы IV научно-технической конференции «Современные технологии водоподготовки и защиты оборудования от коррозии и накипеобразования», М., 2011 г., с. 44-55
12. Мамет А.П., Ситняковский Ю.А. Сравнение экономичности ионитного и обратноосмотического обессоливания воды // Электрические станции, 2002. №6, с. 63-66
13. Первов А.Г., Бондаренко В.И., Балаев И.С. Обратный осмос и ионный обмен: какая технология победит в водоподготовке 21 века // Экология производства. Энергетика. – 2006, №1, с. 1-5
14. Сероштан С. Ионный обмен сдает позиции. Обессоливание воды в промышленности: экономическое сравнение осмоса с Н/ОН // Вода magazine, 2007, №2, с. 18-21
15. Приложение №1 к приказу Министерства энергетики РФ от 4 октября 2022 г. № 1070 “Об утверждении Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации и о внесении изменений в приказы Минэнерго России от 13 сентября 2018 г. № 757, от 12 июля 2018 г. № 548”
16. S.L.Gromov, A.A.Panteleev, A.R.Sidorov Integrated membrane technologies implementation experience// IWA Conference Proceedings “Membrane Technologies in water and waste water treatment”, Moscow, 2008, June 2-4, p. 241-242
17. Петрова О.А. Оптимизация схемных решений ВПУ Выпускная квалификационная работа (магистерская диссертация) // ФГБОУ НИУ «МЭИ», Москва, 2025, 104 с.

Нистратов Алексей Викторович
Кандидат технических наук.
Доцент кафедры промышленной
экологии РХТУ им. Д.И. Менделеева.



Окончил Российский Химико-Технологический Университет имени Д.И. Менделеева, экологический факультет в 2008 г. Занимается очисткой сточных вод и переработкой твердых отходов в активные угли.

Председатель профбюро БПЭ (Первичная профсоюзная организация работников РХТУ им. Д.И. Менделеева).

РАЗРАБОТКИ КАФЕДРЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКОЛОГИИ РХТУ ИМ. Д.И. МЕНДЕЛЕЕВА ДЛЯ ПРОЦЕССОВ ВОДООЧИСТКИ

Нистратов А.В., Кузин Е.Н., Иванцова Н.А., Курбатов А.Ю
РХТУ им. Д.И. Менделеева, Москва,
E-mail: nistratov.a.v@muctr.ru

Согласно лишь официальным данным, водоканалы России ежегодно поставляют потребителям воды на сумму более 400 млрд. руб. [1], общий объём потребления водных ресурсов оценивается в 62,5 млрд. м³. В условиях удорожания технической воды, ужесточения требований к сбрасываемой воде промышленные пользователи заинтересованы в эффективных и экономичных решениях. Далее рассмотрим некоторые достижения в области очистки производственных сточных вод.

Спектр загрязняющих веществ очень широк, однако наиболее часто применяемыми процессами их удаления являются флотация, коагуляция и флокуляция, окислительная деструкция, мембранное разделение и сорбция. Реагенты и аппараты для их реализации широко представлены на рынке, но альтернативные материалы также интересны с точек зрения снижения себестоимости и ресурсосбережения.

Кафедра промышленной экологии РХТУ им. Д. И. Менделеева традиционно занимается разработкой средств очистки воды на базе минеральных и органических отходов. Так, например, процессы добычи и переработки апатитового концентрата сопровождаются образованием миллионов тонн нефелинового шлама (побочный продукт добычи) и фосфогипса (побочный продукт производства экстракционной фосфорной кислоты). С точки зрения экологии указанные материалы являются не отходами, а ценным минеральным сырьём, находящим применение и в водоочистке.

На кафедре промышленной экологии разработаны и изучены реагенты для водоочистки воды из ряда крупнотоннажных ми-

неральных отходов:

-кварц-лейкоксеновый концентрат, соодержащий до 50 % масс по TiO_2 , – продукт добычи сланцевой нефти (Ярегское нефтетитановое месторождение РФ);

-нефелиновый шлам и сфеновый концентрат, обогащённые титаном, – побочные продукты добычи апатита;

-красный шлам – отход производства алюминия по методу Байера (Fe_2O_3 + примеси)

- синтетический брусит – магнийсодержащий отход процесса производства огнеупорных материалов (периклаза);

- гидроксиды цветных металлов – твёрдые осадки процессов очистки сточных вод гальванического и электрохимического производств.

Из них в настоящее время успешно синтезированы и апробированы на различных сточных водах следующие реагенты.

1. Комплексные титансодержащие коагулянты [2] – высокоэффективные реагенты (благодаря коагулирующей способности $Ti(IV)$), по своей эффективности превосходящие традиционные коагулянты на основе соединений алюминия и железа. Данные реагенты имеют положительные результаты тестов при очистке сточных вод сложного состава: молокозаводов, пивоварен, нефтедобывающей и нефтехимической отрасли, фармацевтической и строительной отраслей, чёрной и цветной металлургии.

2. Комплексные коагулянты-восстановители – инновационные реагенты для очистки сточных вод от растворенных органических соединений и соединений хрома (VI), подтвердившие свою эффективность в процессах очистки сточных вод гальванических и электрохимических производств.

3. Комплексные коагулянты-катализаторы – реагенты, показавшие высокую эффективность в процессах окислительной очистки сточных вод предприятий фармацевтической промышленности и органического синтеза.

4. Минеральные катиониты-сорбенты – реагенты на основе алюмосиликатной матрицы с развитой адсорбционной поверхно-

стью и активными группами, позволяющими глубоко удалять из воды катионы тяжёлых металлов, в том числе радиоактивных.

Данные реагенты позволяют интенсифицировать процессы осаждения и фильтрации коагуляционных осадков, что в свою очередь существенно сокращает габариты оборудования или повышает производительность действующих систем водоочистки.

Для доведения качества очищенной воды до санитарных норм часто используют финишную очистку на активных углях [3], но промышленные марки весьма дороги. Альтернативу им могут составить углеродные адсорбенты на основе различных органических отходов, в частности, древесных и полимерных [4].

Карбонизаты на основе природных материалов и отходов полиэтилентерефталата (ПЭТФ) успешно проявили себя при ликвидации разливов нефти в лабораторных условиях (рис. 1), сохраняя плавучесть.

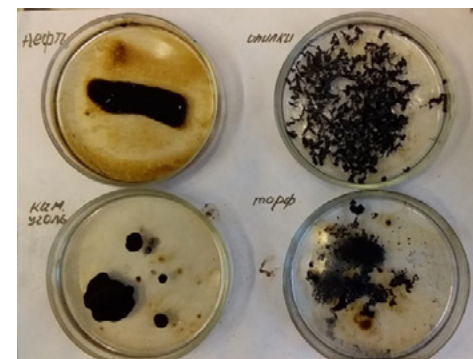


Рис. 1. Результаты удаления плёнки нефти адсорбентами из органического сырья и отхода ПЭТФ

Активные угли из композиции берёзовых опилок с отходами полипропилена (ПП) составили конкуренцию берёзовому углю БАУ при удалении фенола из водных растворов при перемешивании в течение 30-60 мин (табл. 1).

Таблица 1 Результаты применения адсорбентов из древесного сырья и отхода ПП для удаления фенола из воды

Адсорбент	Исх. конц-я фенола, мг/л	Доза, г/л	Степень очистки, %	Адсорбционная ёмкость, мг/г
БАУ	10	1	96	9,6
Карбонизат БО+ПП		0,5 / 1	57 / 66	11 / 7
Активат БО+ПП		1 / 2	97,5 / 99,8	9,75 / 5,0

Показано также, что отработанный адсорбент возможно регенерировать нагреванием до 200 °С практически полностью и использовать многократно.

Аналогичные активаты из композиции сосновых опилок и полиэтилена (ПЭ) прошли сравнительные испытания при обезвреживании растворов антибиотиков, показав степень очистки от тетрациклина 83 %, хотя и уступающую углю Даусорб (91 %) Ключевым преимуществом всех описанных выше реагентов является их сниженная себестоимость, достигаемая за счет того, что в качестве сырья используются невостребованные отходы горной и металлургической промышленности (шлаки, концентраты и пр.), углеродсодержащие отходы различного происхождения.

Специалисты кафедры промышленной экологии также изучают процессы высокоинтенсивного окисления разнообразного спектра органических экотоксикантов (красителей, активных фармацевтических соединений, фенолов, ПАВ и др) [5] и работают над созданием и внедрением технологий, основанных на фотокатализе, для их обезвреживания [6]. На рис. 2 представлена упрощенная схема получения графитоподобного нитрида углерода (g-C₃N₄) – перспективного, дешевого (по сравнению с Degussa P25) катализатора.



Рис. 2. Технология получения графитоподобных катализаторов на основе меламина

Нитрид углерода является одним из наиболее востребованных материалов в современной фотокаталитической науке, что обусловлено его высокой активностью в реакциях окислительной деструкции органических молекул в водной среде. Гетерогенные фотокаталитические системы, разработанные на основе g-C₃N₄, демонстрируют существенное превосходство в деградации фенолов, антимикробных препаратов, поверхностно-активных веществ, азокрасителей, и обладают потенциалом для замены традиционных интенсификаторов окисления и конкурирующих гетерогенных фотокатализаторов.

Одним из важнейших этапов в технологических линиях очистки воды является обеззараживание. В данной области на кафедре промышленной экологии РХТУ им. Д.И. Менделеева разработано несколько реагентных и безреагентных методов. К первым относится применение универсального коагулянта-окислителя – феррата натрия. Данный реагент способен эффективно инактивировать рост патогенных штаммов бактерий, при этом не ведет к вторичному загрязнению сточных вод и не токсичен по отношению к гидробионтам, что неоднократно доказывалось выживаемостью пресноводных ракообразных *Daphnia magna* Straus в очищенной воде.

Комплексные дезинфектанты на основе полигексаметиленгуанидина гидрохлорида (ПГМГ) также способны эффективно обеззараживать сточные и питьевые воды при минимальной дозе внесения. ПГМГ является биоразлагаемым, однако при обработке

вод данным реагентом необходимо соблюдать его допустимую концентрацию 0,1 мг/л.

Отдельным блоком работ на кафедре является интенсификация и снижение реагентных затрат в технологических линиях очистки воды за счет применения гидродинамических устройств для создания кавитационных явлений в обрабатываемой среде. Возникающий кавитационный эффект обеспечивает интенсивную и равномерную гомогенизацию компонентов во всём объёме среды с одновременным увеличением площади взаимодействия реагентов с водой. Кроме того, данное явление приводит к генерации кавитационных микропузырьков, пузырьков газа, которые можно использовать в процессах флотации.

Важно отметить, что представленные решения достаточно универсальны и могут найти широкое практическое применение в области обработки питьевых и сточных вод, а также их осадков за счёт реализации данных методов обеззараживания и их интенсификации в проточном режиме обработки.

Список литературы

1. Промышленное водоснабжение. Аналитика по потреблению воды и ее эффективности в РФ. <https://промышленность-сегодня.рф/news/promyshlennoe-vodosnabzhenie-analitika-potrebleniyu-vody-i-ee-effektivnosti-v-rf>.
2. Нистратов А.В., Кузин Е.Н., Костылева Е.В., Кручинина Н.Е. Технологии минимизации антропогенного воздействия на гидросферу. Лабораторный практикум: учеб. пособие – М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2020. С. 109.
3. Мухин В.М. Роль и место активных углей в обеспечении экологической безопасности // Химическая промышленность сегодня. 2021. № 6. С. 6-11.
4. Юмашева Ю.Ю., Кострова П.А., Нистратов А.В., Иванцова Н.А. Сравнительные испытания активных углей и адсорбентов из древесных и полимерных отходов при очистке воды от органических загрязнений // Успехи в химии и химической технологии: сб. науч. тр. Том XXXVII, № 12 (274). – М.: РХТУ им. Д.

И. Менделеева, 2023. С. 206-208.

5. Иванцова Н.А., Захарова Д.С., Ветрова М.А. Исследование процессов фотоокисления водного раствора нитрофураля // Журн. СФУ. Серия: Химия. 2022. Т. 15, № 4. С. 507–517.
6. Ветрова М.А., Иванцова Н.А., Дубровина В.Н., Курбатов А.Ю. Исследование эффективности катализаторов на основе нитрида углерода для очистки воды от компонента биоцида // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2024. № 6(321). С. 49–55.

Волкова Элеонора Андреевна
Инженер-технолог
АО «Ионообменные технологии».



ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД С ВЫСОКИМ СОДЕРЖАНИЕМ МЭА (МОНОЭТАНОЛАМИНА)

Волкова Э.А., Шалимова Е.В.
АО «Ионообменные технологии», Москва
E-mail: eshalimova@ioteh.com

Моноэтанолламин используется в атомной энергетике в качестве ингибитора коррозии в системах теплоносителя (во вторичном контуре водо-водяных реакторов) для поддержания щелочного рН, предотвращая коррозию трубопроводов и оборудования. Этанолламин дозируется в конденсатно-питательный тракт второго контура АЭС совместно с гидразином и аммиаком. В парогенераторе часть этаноламина уносится с паром на турбину и попадает на вход системы очистки турбинного конденсата. В водных растворах этаноламин является катионом, задерживаясь в катионите фильтров ионного обмена, переходит в регенерационный раствор при химической регенерации последнего и соответственно попадает в сточные воды.

В настоящее время остро встал вопрос очистки сточных вод с высоким содержанием МЭА.

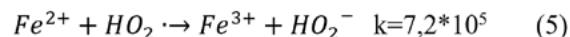
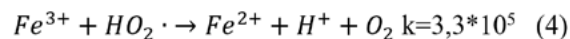
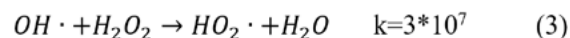
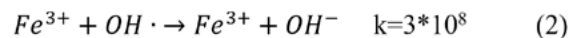
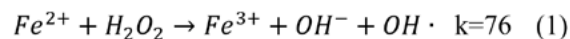
ПДК рыб. хоз = 0,5 мг/л, II класс опасности для человека по данным СанПин 1.2.3685-21.

Очистка подобных сточных вод требует комплексного подхода, так как данное вещество высоко растворимо в воде. В связи с низкой эффективностью классических методов в процессах окисления трудноокисляемых органических соединений, все больше исследований посвящается применению усовершенствованных окислительных процессов (Advanced oxidation processes (AOPs)) для очистки сточных вод.

Компания АО «ИОТ» нашла решение по достижению ПДК МЭА для сброса в водоем рыбохозяйственного назначения без использования оборудования биологической очистки. В основу решения технологии очистки сточных вод от МЭА легла реакция окисления перекисью водорода в присутствии катализатора (сульфата железа (II)). Данная реакция носит название реакции Фентона. Наи-

более оптимальными условиями для протекания реакции является pH=2,5-3,0 и температуре 20-50 °С.

Реакция Фентона протекает по следующим реакциям:



где k- константа скорости реакции.

Доза вводимых реагентов определяется опытным путем. Специалисты АО «Ионообменные технологии» на базе лаборатории «Института химии растворов им. Г.А. Крестова РАН» (г. Иваново) провели серию испытаний по очистке сточных вод с высоким содержанием МЭА. Сточные воды использовались реальные (не моделированные), отобранные с действующей площадки ЛАЭС-2. Сток по условиям образования по качественному составу схож со стоком, который будет образовываться на строящейся АЭС «Руппур». Реальное количественное содержание будет отличаться от представленного образца, но не выйдет за пределы концентраций, указанных в исходных технических требованиях.

В ходе лабораторных испытаний было проведено несколько опытов без предварительного подогрева (температура до 25 °С) и с подогревом сточных вод до 50 °С. Для всех опытов использовали перекись водорода, железо сернокислое (II) семиводное и едкий натр для корректировки pH.

Сточную воду тщательно перемешивали, вводили сернокислое железо, повторно перемешивали и вводили перекись водорода. Концентрации реагентов в основных опытах представлены в таблице 1. Все опыты проводились строго в вытяжном шкафу, т.к. все химические процессы сопровождались газообразованием. Ниже приведена часть результатов опытов.

Таблица 1. Результаты опытов

№	Доза FeSO ₄ *7H ₂ O, мл (г/дм ³)	Доза H ₂ O ₂ , мл (г/дм ³)	ХПК, мгО/дм ³	T, °С	Наблюдения
Опыт 1. Проведение реакции Фентона в сточных водах без предварительного подогрева					
0	0	0	603± 84	-	После отстаивания в течении 12 часов исходная вода остается прозрачной, с рыжими малкими хлопьями в толще
5	2,77 г+50 мл воды (3)	125 (50,05)	469± 66	-	После ввода обоих реагентов при постоянном перемешивании раствор приобретает заметную желтоватую окраску, наблюдается образование пузырьков газа. После корректировки pH до нейтрального проба приобретает бурый цвет, идет активное газообразование (мелкие пузырьки газов), присутствуют мелкие хлопья в толще воды, пристеночная область выше границы воды покрывается испариной (1/6 стакана). После остановки мешалки мелкие хлопья осаждаются в среднем темпе. Спустя 15 минут отстаивания надосадочная вода становится прозрачной, рыхлый осадок лег плотным слоем на дно стакана.
6	4,14 г+50 мл воды (4,2)	185 (69,56)	253± 35	-	Желтоватая окраска усиливается от опыта к опыту. Наблюдения для пробы 6 аналогичны наблюдениям для пробы 5.

№	Доза FeSO ₄ *7H ₂ O, мл (г/дм ³)	Доза H ₂ O ₂ , мл (г/дм ³)	ХПК, мгО/дм ³	T, °C	Наблюдения
Опыт 2. Проведение реакции Фентона в сточных водах с подогревом до 50 °C					
5 Т*	2,77 г+50 мл воды (3)	125 (50,05)	250± 35	49	После ввода обоих реагентов раствор приобретает заметную желтоватую окраску, наблюдается активное образование пузырьков газа. Сразу после дозирования реагентов пристеночная область выше границы воды запотеваает (1/6 стакана). После корректировки pH до нейтральной проба приобретает темно-коричневый цвет, идет активное газообразование (мелкие пузырьки газов), присутствуют мелкие хлопья в толще воды, образуется пена. После остановки мешалки мелкие хлопья осаждаются в среднем темпе, газообразование минимально. Спустя 15 минут отстаивания надосадочная вода становится прозрачной, рыхлый осадок лег плотным слоем на дно стакана.
6 Т*	4,14 г+50 мл воды (4,2)	185 (69,56)	199± 40	52	Наблюдения для пробы 6Т аналогичны наблюдениям для пробы 5Т.

*Примечание T рядом с номером опыта говорит о том, что опыт проводился с нагреванием исходной пробы воды до 50 °C.



Фото 1, 2. Исходная сточная вода, проба №6 после ввода растворов реагентов (опыт 1)

Фото 3, 4. Пробы после нейтрализации (№ 4,5), проба №6 после 15 минут отстаивания (опыт 1)

Таблица 2. Результаты лабораторного анализа

№ пробы	МЭА, мг/дм ³	ХПК, мгО/дм ³
Холостая	>3 (≈5,3)	620±90
5	>3 (≈26)	250±40
6	<0.3	250±40
5Т	1,6±0,1	95±14
6Т	>3 (≈10)	22±3

Результаты лабораторных испытаний пролили свет на конструктив будущей промышленной установки. Было решено:

1. Обеспечить время контакта реагентов до 4 часов минимум;
2. Заложить запас по высоте для емкостей окисления (1/4) для исключения втягивания части воды в трубопровод отвода газов и в переливной трубопровод;
3. Поддерживать диапазон pH необходимый для протекания реакции Фентона;
4. Очищать сточные воды без их длительного усреднения, так как МЭА способен образовывать сложные комплексы с изменением своих физических свойств.

Список литературы

1. Роспотребнадзор. СанПиН 1.2.3684-20 – «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации организаций и предприятий, организации социально-бытового обслуживания»: [утв. постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 28.09.2020 № 28].

Егошина Ольга Вадимовна
Кандидат технических наук.
Доцент кафедры теоретических основ
теплотехники ТОТ НИУ «МЭИ».



РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ХИМИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ВХР НА ТЭС

Егошина О.В., Лукутина С.К.
ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», Москва,
YegoshinaOV@mpei.ru

Тема диссертации и автореферата по ВАК РФ 05.14.14: «Разработка систем автоматического дозирования корректирующих реагентов и анализ водно-химических переходных процессов на ТЭС».

Награждена Почётной грамотой НИУ «МЭИ» за плодотворную деятельность по подготовке высококвалифицированных специалистов, большой вклад в развитие университета и в связи с празднованием 90-летия ИТАЭ.

На современном этапе развития полнофункциональных систем химико-технологического мониторинга большое внимание уделяется анализу причин повреждаемости оборудования и эффективности мер, принимаемых для предотвращения нарушений. Известно, что нарушения, приводящие к неисправности оборудования, происходят внезапно и занимают небольшую часть рабочего процесса. Поэтому в настоящее время системы химико-технологического мониторинга и управления водно-химическими режимом используются не только для мониторинга качества воды и пара в реальном времени, но и для прогнозирования поведения примесей, так как позволяют предотвратить незапланированные дорогостоящие отключения энергетического оборудования [1-3]. Применяемые в тепловой энергетике модели подразделяются на: имитационные, математические, экспертные [4-7]. В имитационных моделях система работает в реальном времени, сравнивает полученные данные с существующей библиотекой сценариев и в случае совпадения выдает аварийный сигнал. Экспертные системы отслеживают тенденции изменения параметров и включают в себя сценарии неисправностей и диапазоны контролируемых параметров.

Наиболее перспективными моделями в системах химико-технологического мониторинга являются алгоритмы, основанные на ионных равновесиях, материального баланса и нейронных сетей, также модели, позволяющие оперативно оценивать качество ведения водно-химического режима параметров и энергоблока в целом. К первой группе алгоритмов относят все модели, позволяющие косвенно рассчитать показатели, определить текущую кон-

центрацию примеси: модели, основанные на ионных равновесиях, материальном балансе и модели, используемые для оценки качества ведения ВХР. Ко второй группе алгоритмов относятся модели, основанные на материальном балансе и нейронных сетях.

В настоящее время широко используются системы химико-технологического мониторинга с функцией управления водным режимом энергетического оборудования, в основу которых заложены математические модели, описывающие изменение концентраций примесей в пароводяном тракте без прогнозирования поведения примесей. В работах [4,10-13] авторами предложены алгоритмы, основанные на ионном составе теплоносителя. В основе моделей находятся уравнения взаимосвязи удельной электропроводимости воды и концентрации отдельных ионов, уравнения электронейтральности до и после сильнокислотного фильтра. Удобство данных моделей заключается в простоте, низкой стоимости внедрения, так как современные энергетические объекты оснащены автоматическими приборами химического контроля, высокая информативность. На основе алгоритмов разработаны модели SWAN и VGB, автоматические кондуктометры с расчетом pH и концентрацией аммиака [10-12].

Все большую популярность приобретают математические модели для косвенного расчета концентрации корректирующего реагента и значения pH по тракту энергоблока [14,15] на основе измерений удельной электропроводимости пробы. Применение подобных алгоритмов позволяет уменьшить нагрузку по расходу пробы на пробоотборные точки, сократить объем лабораторного химического контроля. На рисунке 1 представлено моделирование поведения примесей по тракту энергоблока на основе ионного равновесия.

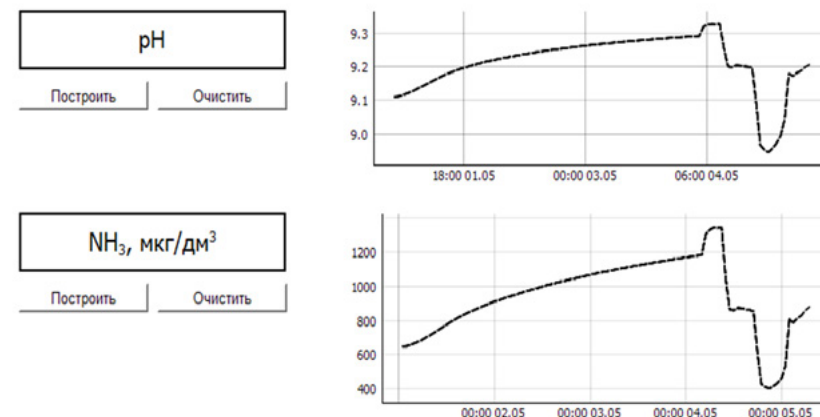


Рисунок 1 - Моделирование поведения примесей по тракту энергоблока на основе ионного равновесия

Подобная модель позволяет диагностировать текущее состояние водно-химического режима с погрешностью не более 20%. Как было отмечено выше, на основе математических моделей, используемых для расчёта текущего состояния водно-химического режима, разработаны алгоритмы, позволяющие оперативно оценить качество ведения водно-химического режима параметров и энергоблока в целом. Так, авторами предложена модель «Индекс качества ВХР», в основу которой заложен алгоритм, согласно которому чем больше значение индекса качества, тем значительнее нарушение водно-химического режима [16]. Если значение текущего параметра находится в пределах установленных норм, то значение индекса качества изменяется от нуля до единицы. Значение индекса качества, равное единице, является граничным между нормальным уровнем контролируемого параметра и нарушением. Например, в случае выхода за пределы установленных норм какого-либо из контролируемых параметров, значение индекса качества энергоблока превысит единицу, что служит сигналом оператору о возможном нарушении режима дозирования реагентов. Алгоритм позволяет выявлять наиболее опасные тенденции на данный момент времени и определять нарушения водно-химического режима на раннем этапе.

На рисунке 2 представлена математическая модель оценки качества ведения водно-химического режима энергоблока на основе интегральных индексов качества для отдельных потоков.

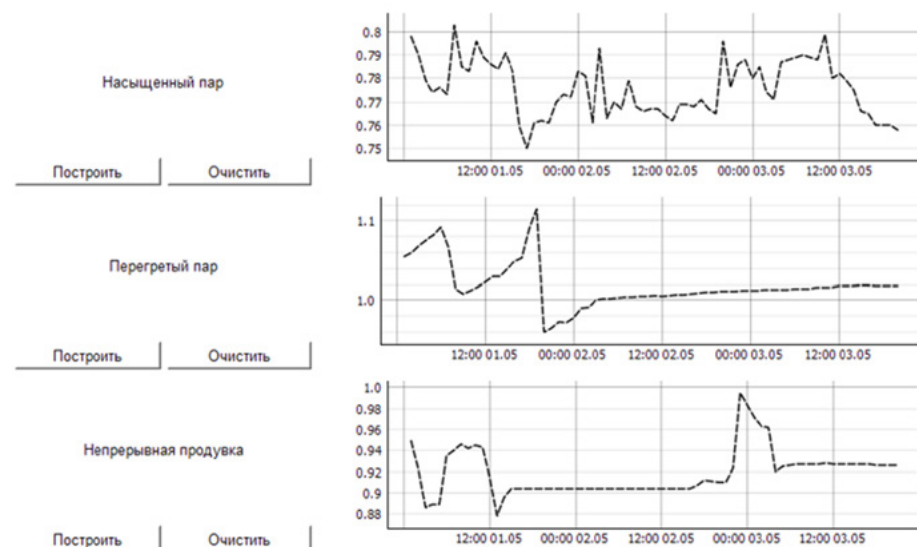


Рисунок 2 - Математическая модель оценки качества ведения водно-химического режима энергоблока на основе интегральных индексов качества для отдельных потоков

В целях оперативной оценки состояния водно-химического режима целесообразно рассчитывать индексы качества не только для отдельных параметров, но для участка тракта и энергоблока в целом. На рисунке 3 представлена математическая модель оценки качества ведения водно-химического режима энергоблока на основе интегральных индексов качества для энергоблока.



Рисунок 3 - Математическая модель оценки качества ведения водно-химического режима энергоблока на основе интегральных индексов качества для энергоблока

Представленный выше алгоритм является универсальным и применим для систем с автоматическим и лабораторным химическим контролем. Прежде всего алгоритм рекомендуется для систем с автоматическими анализаторами, так как при большом объеме лабораторного химического контроля данные будут появляться с задержкой из-за периодичности. Апробация данного алгоритма была успешно проведена на примере энергоблока парогазовой установки мощностью 450 МВт в номинальном режиме работы.

За последние 20 лет большое развитие получили модели, основанные на материальном балансе, которые позволяют оценить не только текущее состояние водно-химического режима, но и предоставить значения прогнозируемой концентрации реперной примеси во всех точках пароводяного тракта [8,17-20].

Авторами разработана математическая модель, основанная на материальном балансе, которая позволяет прогнозировать поведение примесей по тракту энергоблока в основных контролируемых потоках: основном конденсате, питательной и котловой воде, насыщенном паре. Алгоритм базируется на расчете динамических дифференциальных уравнений с распределёнными параметрами (динамические математические модели) и на статических моделях с добавлением скорости изменения выходного параметра в некотором объеме. В модели рассчитывается концентрация примесей во всех основных потоках до и после нанесения возмущения, что позволяет прогнозировать концентрации примеси по тракту энергоблока в номинальном и нештатном режимах работы блока.

Авторами проведена апробация алгоритма на промышленных данных на примере двухконтурного энергоблока ПГУ мощностью 450 МВт с аммиачным водно-химическим режимом. Получено, что совпадение расчетных данных с измеренными находится в пределах 20 %. Максимальная погрешность алгоритма составляет 35%, интервал прогнозирования – 2 часа.

В настоящее время одним из основных направлений развития систем химико-технологического мониторинга является применение алгоритмов, прогнозирующих поведение примесей на основе нейронных сетей. Так, рядом авторов [1,22-25] исследована возможность использования нейронных сетей в энергетике, представлены реализованные системы оповещения о предстоящем нарушении. В основе алгоритмов представлены последовательные шаги: сбор данных (архив), разделение на базы данных, обучение нейронной сети и выполнение проверки.

Авторами представлена модель прогнозирования примесей по тракту энергоблока с использованием рекуррентной нейронной сети долго-краткосрочной памяти LSTM, которая обучается на промышленных данных (база данных) объекта. Алгоритм позволяет прогнозировать значение любого контролируемого параметра применительно к определенной точке контроля рабочей среды: обессоленная вода после ВПУ, основной конденсат, питательная вода после деаэратора, питательная вода перед котлом, котловая вода чистого отсека, непрерывная продувка, насыщенный пар.

На рисунке 4 представлено математическое моделирование поведения примесей по тракту энергоблока на основе нейронных сетей

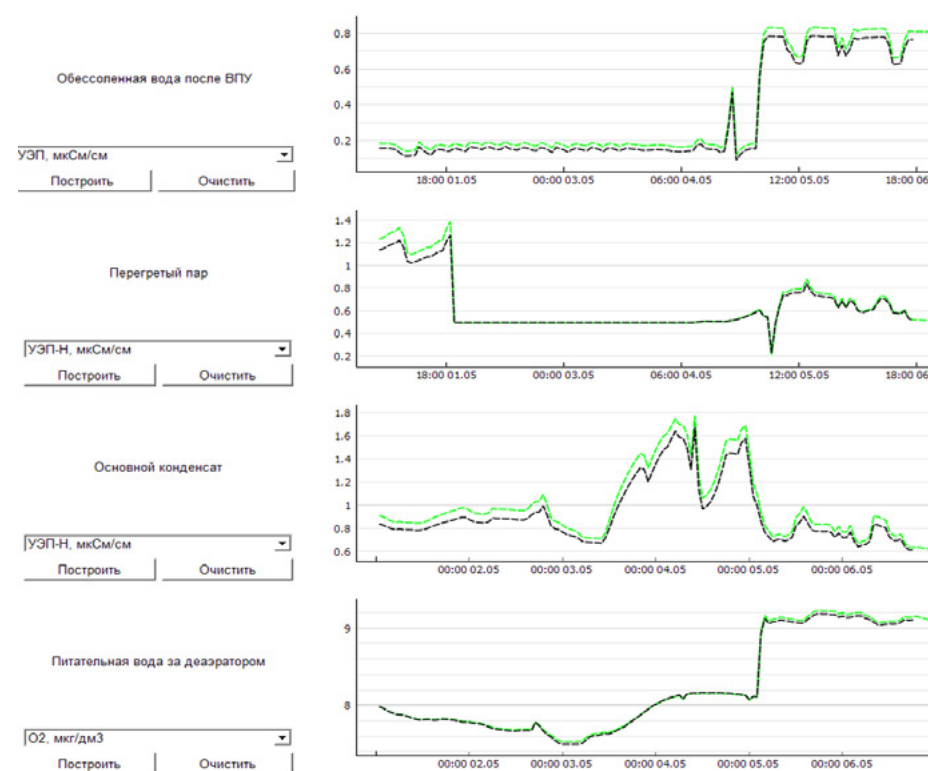


Рисунок 4 - Математическое моделирование поведения примесей по тракту энергоблока на основе нейронных сетей

Погрешность прогнозирования зависит от точности предсказания, качества и объема предоставленных данных для обучения. В случае номинального режима прогнозирование возможно на период 7-8 ч, в пусковых режимах порядка 1-2 ч с точностью в пределах 1-2 %.

На основе представленных алгоритмов авторами разработана и реализована система интеллектуального мониторинга и управления водно-химическим режимом.

В системе мониторинга реализованы следующие алгоритмы: поведения примесей по тракту энергоблока на основе материального баланса и закономерностей ионных равновесий; оперативной оценки качества ведения водно-химического режима энергоблока

на основе интегральных индексов качества; прогнозирования поведения примесей по тракту энергоблока с использованием рекуррентных нейронных сетей долго-краткосрочной памяти LSTM.

Система интеллектуального мониторинга и управления водно-химическим режимом на энергообъектах позволит: контролировать качество рабочей среды во всех режимах работы оборудования; прогнозировать поведение примесей на основе нейронных сетей; прогнозировать поведение примесей на основе материального баланса; выявлять наиболее опасные тенденции на данный момент времени; оценивать качество ведения водно-химическим режима энергоблока.

В результате внедрения полнофункциональной системы химико-технологического мониторинга повышается надежность и экономичность работы энергоблока. Так, ожидается: снижение недовыработки электроэнергии на 0,5% за счет оптимизации режимов работы оборудования и минимизации аварийных остановов; уменьшение количества нарушений водно-химического режима в 5-10 раз, что, приводит к снижению скорости роста отложений на 50% и уменьшению повреждаемости оборудования, связанной с ВХР, не менее чем на 50%. Внедрение системы позволит повысить надежность работы теплоэнергетического оборудования и сократить затраты на его ремонт и замену, а также приведет к уменьшению расхода корректирующих реагентов не менее чем на 30%, что повлияет на снижение эксплуатационных затрат.

Список литературы

1. Kusiak A., Shah S., Data mining based system for prediction of water chemistry faults, IEEE Transactions on Industrial Electronics, 15(2), P. 593–603, 2006.
2. R. Narayanswamy, J. L. Metz, and K. M. Johnson, «Intelligent data elimination for a rare event application» in Proc. SPIE — Int. Society Optical Engineering, San Diego, CA, 1998, vol. 3460, P. 906–917.
3. C. R. Powicki, «Water chemistry off-site and on-line» EPRI J., vol. 24, no. 4, pp. 24–31, 1999.
4. M. N. Shvedova, V. G. Kristi, S. V. Zakharova, F. V. Nikolaev, and V. B. Benediktov, «Expert system for diagnostics and status monitoring of NPP water chemistry condition» in Proc. Int. Conf. Nuclear Engineering (ICONE), Arlington, VA, 2002, vol. 4, P. 93–98.
5. D. M. Sopocy, J. A. Montanus, O. Jonas, J. K. Rice, A. Agogino, B. Dooley, and D. S. Murthy, «Development of an on-line expert system: Cycle chemistry and demineralizer operation advisor,» ASTM Special Tech. Pub. 1102, P. 52–65, 1991.
6. Воронов В.Н., Петрова Т.И., Назаренко П.Н. Математические модели и их использование в системах химико-технологического мониторинга электростанций // Теплоэнергетика. 2005. № 4. С. 51–53.
7. Sampling and physico-chemical monitoring of water and steam cycles. Essen, Germany, VGB Power Tech. Service GmbH, 2012. VGB-006-00-2012-09-EN.
8. Lendi M., Wagner H., Wuhrmann P. pH calculation by differential conductivity measurement in mixtures of alkalization agents // Power Plant Chem. 2014. V. 16. No. 1. P. 1–8.
9. Maurer H. On-line pH-measurement by differential cation and specific conductivity // Intern. Chemistry On-Line Process Instrumentation Seminar. Clearwater Beach, FL, USA. 1997.
10. Technical Guidance Document – 2015 Revision: Instrumentation for monitoring and control of cycle chemistry for the steam-water circuits of fossil-fired and combined cycle power plants. The International Association for the Properties of Water and Steam. – Stockholm, Sweden July – 2015.
11. Ларин А.Б., Сорокина (Иванова) А.Я. Расчет концентраций ионных примесей в предельно разбавленных водных растворах типа конденсата и питательной воды паровых котлов (р_б > 10 МПа) // Вестник ИГЭУ. 2017. Вып. 2. С. 13–17.
12. Егошина О.В., Звонарева С.К., Тег Вей Лин. Сравнительный анализ использования алгоритмов расчета рН и концентрации аммиака в системах химического контроля на тепловых элек-

- тростанциях // Вестник МЭИ. 2021. № 2. С. 37–42.
13. Егошина, О. В. Оценка влияния гидрокарбонатов на рН и концентрации аммиака в условиях ухудшения качества питательной воды / О. В. Егошина, С. К. Звонарева // Теплоэнергетика. – 2023. – № 6. – С. 67-73. – DOI 10.56304/S0040363623060036.
 14. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022660393 Российская Федерация. Программа для расчета универсального показателя ведения водно-химического режима - Индекса Качества: № 2022619674: опубл. 02.06.2022 / О. В. Егошина, С. К. Звонарева; заявитель: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ».
 15. Воронов В.Н., Эндрухина О.В. Математическое моделирование водно-химического режима ТЭС в нестационарных условиях // Теплоэнергетика. - 2003. - № 7. - С. 63–66.
 16. Эндрухина О.В., Воронов В.Н., Назаренко П.Н. Анализ эффективности использования системы химико-технологического мониторинга на примере Черепетской ГРЭС // Теплоэнергетика. - 2006. - №8. - С.17–20.
 17. Воронов В.Н., Краснорядцев И.М. Проблемы математического моделирования теплогидравлических и водно-химических процессов в парогенераторах АЭС с ВВЭР // Теплоэнергетика. - 1991. - № 9. - С. 78–80.
 18. Воронов В.Н., Назаренко П.Н., Шмелев А.Г. Моделирование динамики развития нарушения водно химического режима по ионогенным примесям для парогенераторов ПГВ-1000 // Теплоэнергетика. - 1993. - № 11. - С. 37–42.
 19. Figedy Stefan and SMIESKO Ivan. Early detection and identification of anomalies in chemical regime based on computational intelligence techniques. Nuclear Safety and Simulation, Vol. 3, Number 1, March 2012.
 20. Figedy Stefan. Implementation of computational intelligence methods in diagnostic systems in the nuclear power plant.
 21. Asabi Boakye, P. Neural Network Model of Changes in the Nuclide Composition of VVER Reactor Fuel / P. Asabi Boakye, A. Goryunov Germanovich // Social Science Research Network. – 2022. – DOI 10.2139/ssrn.4107460.
 22. Hassoun M.H. Fundamentals of artificial neural networks. Cambridge, MA: MIT Press, 2005.
 23. Котенков В.Н., Тяпков В.Ф. Применение нейросетевого моделирования для непрерывного контроля рН теплоносителя АЭС // Теплоэнергетика. - 2005. - № 7. - С. 36–40.
 24. Готовцев П.М., Воронов В.Н. Анализ состояния теплоносителя с помощью искусственных нейронных сетей // Теплоэнергетика. - 2008. - № 7. - С. 15–20.

Богачева Алла Геннадьевна
Ведущий методист ЗАО «Крисмас+»,
химик-эколог.
Заместитель руководителя учебного
центра, специалист по методике учеб-
ного и профессионального примене-
ния производимого оборудования.



ХАРАКТЕРИСТИКИ ГОТОВЫХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ВОДНО-ХИМИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ. ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ НА ОСНОВЕ ПОРТАТИВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ.

Богачева А.Г., Муравьев А.Г.
ЗАО «Крисмас+», Санкт-Петербург
E-mail: metodist_uc@christmas-plus.ru

Эффективность работы теплоэнергетических предприятий во многом зависит от качества воды, используемой в технологических процессах. Водно-химический режим (ВХР) выступает ключевым инструментом обеспечения соответствия воды установленным нормативам.

Система ВХР объединяет комплекс мероприятий по очистке и подготовке воды, при этом особую значимость приобретает оперативный химический контроль на всех этапах обработки. Помимо контроля качества воды, предприятия обязаны осуществлять экологический мониторинг окружающей среды, который включает анализ состояния воздуха, почвы и водных объектов. В отдельных случаях требуется проведение санитарно-пищевого контроля прилегающих территорий.

Аналитическое обеспечение производственных процессов — неотъемлемая часть работы предприятий энергетического сектора. Для этого на объектах создаются специализированные химические лаборатории. Однако их функционирование требует существенных инвестиций: необходимо обеспечить соответствующие производственные помещения, приобрести оборудование и привлечь квалифицированных специалистов.

Качество исследований напрямую зависит от компетентности лаборантов. Для получения достоверных результатов важно не только следовать стандартам государственной системы обеспечения единства измерений (ГСИ), но и соблюдать принципы надлежащей лабораторной практики согласно ГОСТ 31886-2012.

Преодолеть существующие сложности позволяет внедрение портативного оборудования для аналитического химического контроля. Особенно актуальным такое решение становится для крупных производств, активно использующих водные ресурсы. Использование инструментов внелабораторного химического анализа даёт возможность организовать текущий аналитический химический контроль с существенным сокращением финансовых затрат.

Существенным преимуществом данного подхода является гибкость в организации обучения персонала. Профессиональная подготовка специалистов может осуществляться по различным программам, в том числе в формате экспресс-обучения. Это позволяет быстро адаптировать сотрудников к работе с современным аналитическим оборудованием и эффективно внедрять новые методы контроля качества.

Важно отметить необходимость применения унифицированных и стандартизированных методов и методик, основанных на федеральных и отраслевых действующих документах в том числе и при использовании портативного оборудования. В настоящее время описанные подходы успешно реализуются при применении на теплоэнергетических предприятиях комплектного оборудования производства ЗАО «Крисмас+».

Технологии анализа в оборудовании представлены: визуально-колориметрическим, титриметрическим, фотометрическим, а также визуальным, приборными (кондуктометрическим, потенциометрическим, электрометрическим) и расчётно-графическим методами. При этом в основе технологий используются разные методы и методики, что согласуется с подходами ФГИС подсистемы «АРШИН» («Аттестованные методики (методы) измерений»). Некоторые методики, предназначенные для измерения основных показателей качества воды, были отдельно разработаны специалистами компании и внесены в Федеральный реестр методов анализа.

Для решения разнообразных задач в различных отраслях предлагается широкий спектр изделий:

- портативные лаборатории;
- тест-системы и тест-комплекты;

- индикаторные трубки;
- газоопределители и пробоотборные устройства;
- мини-экспресс-лаборатории;
- полевые, судовые и специальные лаборатории;
- санитарно-пищевые лаборатории.

Характерно, что производимые изделия претерпевают постоянную модернизацию, что обусловлено периодическим изменением нормативной базы, улучшением средств комплектации и упаковки, совершенствованием аналитических рецептур и алгоритмов их применения. Срок службы аналитической продукции для большинства изделий составляет не менее 1 года. Исключением являются некоторые аналитические растворы, имеющие небольшой срок годности. В наших методиках предусмотрено их восполнение самим потребителем с использованием готовых капсулированных смесей, либо аналитических концентратов. Несложные процедуры приготовления подробно описаны в прилагаемых руководствах. Важно, что применимость такого подхода показана в течение эксплуатации оборудования, что подтверждено работоспособностью анализа. И конечно, необходимой составной частью любого изделия является документация: паспорт, гарантийные обязательства, специальное иллюстрированное руководство по применению. В руководстве предоставлена всесторонняя информация об изделии и регламентирующее выполнение анализа.

Рабочие параметры применения портативного оборудования при анализе: температура анализируемой пробы воды (10÷35) оС; температура и относительная влажность атмосферного воздуха, а также атмосферное давление – не регламентируются.

Данное оборудование, как показывает опыт его эксплуатации в теплоэнергетике и в работе производственных предприятий, обеспечивает эффективное достижение задач аналитического химического контроля и создаёт значительную экономию ресурсов.

Для водно-химического контроля на объектах теплоэнергетики (котельных, паросиловых хозяйствах, производственных и жилищнокоммунальных предприятиях и т.п.) предназначены пор-

тативные Водно-химические экспресс-лаборатории модели ВХЭЛ. Помимо водно-химического контроля теплоэнергетического оборудования, данные лаборатории позволяют также контролировать процессы водоподготовки (водоочистки, коррекционной обработки и т.п.) по отдельным показателям непосредственно в производственных условиях, при отсутствии химической лаборатории или в дополнение к ней. Принцип действия изделия основан на использовании химикоаналитических и химико-физических методов.

Лаборатория ВХЭЛ поставляется в нескольких модификациях, предусматривающих дополнительное оснащение лаборатории приборами контроля воды – рН-метрами, кондуктометрами, кислородомерами, а также дополнительными модулями-тест-комплектами. Это позволяет потребителю реализовать наиболее подходящий вариант аналитического контроля. Имеющиеся в изделии расходные материалы позволяют выполнить не менее 100 определений по каждому из показателей, за исключением определения сульфитов, а также нефтепродуктов (по 50 определений). Ресурс восполняется комплектом пополнения расходных материалов КП ВХЭЛ, который предназначен для замены предусмотренных в составе изделия химических реактивов и растворов, а также материалов, израсходованных и/или имеющих истёкший срок годности.



Рис.1 Водно-химические экспресс-лаборатории ВХЭЛ-1 и ВХЭЛ-3

Изделие ВХЭЛ поставляется в специальных настольных укладках, выполненных в виде раскрывающегося ящика, образующего рабочее место оператора (Рис.1). Лаборатории ВХЭЛ включают 2 вида настольных укладок: малую и большую. В укладках размещены секции с необходимыми для анализа средствами оснащения и документацией. Охватывают выполнение контроля (в зависимости и модификации) по показателям, входящим в перечень при аналитическом химическом контроле производственных вод: аммиак, двуокись углерода свободная, железо общее, жёсткость общая, жёсткость кальциевая, кислород, кремниевая кислота (по SiO₂), нефтепродукты, нитраты, нитриты, окисляемость перманганатная (ХПК), рН, прозрачность и мутность, сульфиты, фосфаты и полифосфаты, хлориды, щёлочность общая. Позволяют также проводить химический анализ природных вод, контроль оборудования при водоподготовке и др.

Список литературы

1. ГОСТ 31886-2012 Принципы надлежащей лабораторной практики (GLP). Применение Принципов GLP к краткосрочным исследованиям: межгосударственный стандарт: дата введения: 01.01.2013
2. Муравьёв А.Г. Направления развития технологий аналитического химического контроля при водоподготовке и эксплуатации котлового оборудования // ГК «Крисмас»: [сайт] URL: https://christmas-plus.ru/reviews/kotlovaya_voda/napravleniya_razvitiya_tekhnologiy_analiticheskogo_khimicheskogo_kontrolya_pri_vodopodgotovke_i_eksp (дата обращения: 30.07.2025)
3. Муравьёв А.Г. Новый взгляд на показатели долговечности и надёжности портативного оборудования для контроля качества воды как пищевого и хозяйственного ресурса // ГК «Крисмас»: [сайт] URL: https://christmas-plus.ru/reviews/voda/novyy_vzglyad_na_pokazateli_dolgovechnosti_i_nadyezhnosti_portativnogo_oborudovaniya_dlya_kontrolya_ (дата обращения: 27.07.2025)
4. Муравьёв А.Г. Руководство по аналитическому химическому

му контролю при водоподготовке и эксплуатации котельного оборудования / А.Г. Муравьев, И.В. Субботина, Е.Б. Кравцова, Н.А. Осадчая, Н.Е. Сергеева; под ред. канд. хим. наук А. Г. Муравьева. – 2-е изд., испр. и доп. — Санкт-Петербург: Крисмас+, 2024. – 344 с.

5. РД 24.031.120 Методические указания. Нормы качества сетевой и подпиточной воды водогрейных котлов, организация водно-химического режима и химического контроля: руководящий документ по стандартизации: дата введения: 01.07.91
6. РД 24.032.01 Методические указания. Нормы качества питательной воды и пара, организация водно-химического режима и химического контроля паровых стационарных котлов-утилизаторов и энерготехнологических котлов: руководящий документ по стандартизации: дата введения: 01.07.91

Санкт-Петербург

- ЗАО «Межрегиональная химическая компания «Регионхимснаб»
- ООО «Промышленные Экологические Лаборатории»
- ООО «НеваРеактив»
- ООО «ЭКРОСХИМ»
- ЗАО «Крисмас+»
- ООО «Арска Тек»
- АО «Ленреактив»

Новочебоксарск

- ООО «УК «Волгахим»

Тольятти

- ООО «М9 Фарм»

Самара

- ЧОУ ДПО «Учебный центр «Содействие»

Киров

- ООО «Кибих»

Пермь

- ООО «Промхимперм»
- ООО «НПП Синтез»

Вязьма

- АО «ВЗСП»

Минск

- ОАО «Белхим»

Вологда

- ООО «ТД Красная звезда»

Москва

- ФГУП НИЦ «Курчатовский институт»
- ООО «НПФ «Траверс»
- АО «Экос-1»
- ITE Expo International
- АО НЦ «Малотоннажная химия»
- АО «Купавнареактив»
- ООО «Сигма Тек»
- ООО «Реаорг»
- ООО «Концепт-Лаб»
- ООО «Концерн «Звезда»

Мытищи

- ООО НПК «Фарминжиниринг»

Казань

- ООО «ГК Аналитика»

Уфа

- АО «Химреактивснаб»

Саратов

- ООО «НИИТОНХ И БТ»

Нижний Новгород

- АО «Химреактив»

Ангарск

- ЗАО «Реактив»

Новосибирск

- Новосибирский институт органической химии имени Н.Н. Ворожцова СО РАН

Омск

- ООО «Омскреактив»

Ассоциация «Росхимреактив» объединяет российских производителей и поставщиков средне- и малотоннажной химии, оборудования и цифровых решений для лабораторий и высокотехнологичных производств. В настоящий момент в состав Ассоциации входит 35 компаний.

Химическая продукция и оборудование, которые выпускают члены Ассоциации, применяется в высокотехнологичных и наукоемких секторах российской промышленности.



Реагенты АМИНАТ™ и технологии ТРАВЕРС для водоподготовки

Предлагаем эффективные решения для:

- Систем горячего водоснабжения и систем с открытым водоразбором
- Установок обратного осмоса и нанофильтрации
- Водооборотных циклов (ВОС) и систем охлаждения
- Паровых котлов различных параметров
- Систем с водогрейным оборудованием
- Теплосетей
- Систем с катионообменными материалами
- Систем, требующих отмывки/очистки от накипи и коррозии

Специалисты ТРАВЕРС осуществляют подбор оптимальных реагентов и технологий под конкретные нужды заказчика.

Для постоянных клиентов уточнить наличие продукции на складе, узнать о готовности заказов можно в отделе сбыта: тел./факс +7(495)964-98-68 (доб. 148)



www.travers.su

Пишите нам:
107076, Москва, а/я 42
Email: voda@travers.su

Лаборатория
+7 (495) 983-58-88,
доб. 313, 314