

**VI научно-практическая конференция  
«Современные технологии  
водоподготовки и защиты  
оборудования от коррозии и  
накипеобразования»**

# **СБОРНИК ДОКЛАДОВ**

28-29 октября 2015 г., г. Москва, «Экспоцентр»

## Содержание

Тема доклада, докладчик, соавторы	Стр.
<b>«Результаты применения реагентов АМИНАТ™ на предприятиях ООО «Купавинские тепловые сети»</b> – докл. Олехов Максим Валерьевич инженер-технолог, соавтор Олейник Алексей Михайлович директор ООО «Купавинские тепловые сети».	4
<b>«10-летний опыт применения реагентов АМИНАТ™ в тепловом хозяйстве г. Волгограда»</b> – докл. Чалышева Татьяна Михайловна начальник центра химического надзора МУП «Волгоградское коммунальное хозяйство».	8
<b>«Исследование эффективности обескислороживания воды реагентами на основе сульфита и метабисульфита натрия»</b> – докл. Бутакова Мария Вадимовна инженер-технолог, соавтор Гусева Ольга Владимировна начальник отдела водоподготовки ООО «ОТК».	12
<b>«Особенности организации коррекционных водно-химических режимов змеевиковых парогенераторов с использованием реагентов АМИНАТ™»</b> – докл. Белканова Мария Алексеевна инженер-технолог, соавтор Гусева Ольга Владимировна начальник отдела водоподготовки ООО «ОТК».	15
<b>«Экологически безопасные ингибиторы коррозии марок ОПЦ для систем водооборота»</b> – докл. к.т.н. Хасанова Диляра Ильгизовна начальник лаборатории антикоррозионных процессов), соавторы Кирилова Марина Александровна инженер-технолог 2-ой категории лаборатории антикоррозионных процессов; Гильмулина Асия Ренатовна инженер-технолог 1-ой категории лаборатории антикоррозионных процессов НТЦ ПАО «Нижнекамскнефтехим».	20
<b>«Результаты внедрения реагентов АМИНАТ™ для организации ВХР оборотной системы цеха №12 ЗАО «РНПК»</b> – докл. Мехина Ольга Петровна инженер-технолог ООО «ОТК», соавторы Рудакова Галина Яковлевна ведущий научный сотрудник лаборатории воды и теплоносителя, Комбаров Светлana Петровна ведущий научный сотрудник лаборатории воды и теплоносителя ПАО НЦ «Малотоннажная химия».	23
<b>«Современные методы анализа содержания и механизма действия реагентов АМИНАТ™ серии ПК и АМИНАТ™ серии ВО»</b> – докл. к.т.н. Дикарева Юлия Михайловна заведующая аналитическим отделом, соавторы к.т.н. Ганина Любовь Владимировна инженер-технолог ПАО НЦ «Малотоннажная химия»; Белканова Мария Алексеевна инженер-технолог ООО «НПФ «Траверс».	27
<b>«Непрерывная очистка воды бассейна нейтринного водного детектора с использованием установок обратного осмоса»</b> – докл. к.х.н. Быков Виктор Васильевич заместитель главного технолога ООО «ЭКОДАР МВК».	32
<b>«Изучение эффективности новых типов ингибиторов для предотвращения образования карбонатных осадков в установках обратного осмоса и определение их технологических характеристик»</b> – докл. д.т.н. Первов Алексей Германович профессор кафедры водоснабжения, соавторы к.т.н. Андрианов Алексей Петрович доцент кафедры водоснабжения, к.т.н. Ефремов	42

Роман Владимирович старший преподаватель, доцент ФГБОУ ВПО «МГСУ»; Рудакова Галина Яковлевна ведущий научный сотрудник лаборатории воды и теплоносителя ПАО НЦ «Малотоннажная химия».	
<b>«Технология динамического осветления «ДИКЛАР» для очистки природных и сточных вод – альтернатива импортным технологиям. Опыт внедрения и перспектива»</b> – докл. Балаев Игорь Семенович технический директор, соавторы Кучма Геннадий Геннадьевич административный директор, Кеменов Юрий Викторович коммерческий директор, ООО ИЦ «Объединенные Водные Технологии».	43
<b>«Повышение эффективности коагуляции в процессе очистки речной воды»</b> – докл. Хасанова Дилъра Ильгизовна начальник лаборатории антикоррозионных процессов, соавторы Кирилова Марина Александровна инженер-технолог 2-ой категории лаборатории антикоррозионных процессов, Коврижных Елена Александровна инженер-технолог 3-й категории лаборатории антикоррозионных процессов НТЦ ПАО «Нижнекамскнефтехим».	54
<b>«Результаты улучшения способа обезжелезивания подземных вод»</b> – докл. к.т.н. в.н.с. Цымбалов Александр Алексеевич генеральный директор ООО «Архимед».	58
<b>«Электрохимическая озон-пероксидно-сорбционная очистка сточных вод»</b> – докл. Гадлевская Анастасия Сергеевна ведущий специалист группы системы управления знаниями Управления по инновационному развитию, соавторы к.х.н. Потапова Галина Филипповна ведущий научный сотрудник, с.н.с. Мантузов Антон Викторович, к.т.н. Абрамов Павел Иванович заместитель заведующего лаборатории коррозии и электрохимии, д.т.н. г.н.с. Кузнецов Евгений Викторович АО «НИФХИ им. Л.Я. Карпова».	62
<b>«Разработка технологии водоподготовки на основе обратного осмоса с уменьшенным расходом концентрата»</b> – докл. д.т.н. Первов Алексей Германович профессор кафедры водоснабжения, соавтор к.т.н. Андрианов Алексей Петрович доцент кафедры водоснабжения ФГБОУ ВПО «МГСУ».	70
<b>«Опыт внедрения противоточных ионообменных и комбинированных технологий умягчения и обессоливания воды»</b> – докл. Балаев Игорь Семенович технический директор, соавторы Кучма Геннадий Геннадьевич административный директор, Кеменов Юрий Викторович коммерческий директор, Спиридонов Николай Евгеньевич инженер ООО ИЦ «Объединенные Водные Технологии».	71

**«Результаты применения реагентов АМИНАТ™  
на предприятиях ООО «Купавинские тепловые сети»**

Докл. Олехов Максим Валерьевич инженер-технолог, соавтор Олейник  
Алексей Михайлович директор ООО «Купавинские тепловые сети».

Одной из важнейших задач, поставленных городскими властями перед сотрудниками ООО «Купавинские тепловые сети» являлось доведение качества сетевой воды системы ГВС до значений, нормируемых ГОСТ 2874-82, так как от жителей г. Старая Купавна поступали многочисленные жалобы на высокую цветность горячей воды, сильный запах и металлический привкус.

Проведенные исследования показали, что основной причиной несоответствия качества горячей воды является двухстадийный способ подготовки подпиточной воды, включающий в себя стадию обезжелезивания и стадию умягчения методом натрий-катионирования питьевой воды.

Известно, что умягченная вода не склонна к накипеобразованию, но обладает высокой коррозионной активностью. Применение для подпитки системы ГВС данного состава воды привело к коррозионным поражениям трубопроводов системы и, как следствие, к существенному увеличению содержания железа в горячей воде (табл. 1), что в свою очередь сказалось на качестве горячей воды, поступающей к потребителю.

**Таблица 1**

Результаты химического анализа проб воды

Место отбора пробы	Ж <sub>с</sub> , мг- экв/л	Щ <sub>с</sub> , мг- экв/л	рН	железо, мг/л	хлориды, мг-экв/л
Питьевая вода	4,7	3,6	7,48	3,66	1,5
После установки обезжелезивания	4,7	3,6	7,57	0,74	1,5
После первой ступени умягчения	0,2	3,6	7,07	0,2	1,8
Система ГВС	0,3	3,6	8,2	6,66	1,9

Для ликвидации негативных последствий применения умягченной воды было решено изучить возможность применения в данной системе другого способа водоподготовки – технологию стабилизационной обработки подпиточной воды ингибитором солеотложения и коррозии реагентом АМИНАТ™ Кв с заменой умягченной воды на питьевую воду, прошедшую стадию обезжелезивания.

Суть данной технологии заключается в том, что в подпиточную воду вводится разрешенный к применению для обработки воды системы ГВС ингибитор солеотложений и коррозии реагент АМИНАТ™ Кв в концентрации, не превышающей значения ПДК для питьевой воды (4 г/м<sup>3</sup>).

Однако результаты проведенных исследований показали низкую эффективность применения реагента АМИНАТ™ Кв для воды указанного выше состава.

На следующем этапе проведения эксперимента изучалась возможность применения технологии стабилизационной обработки воды на образцах, полученных смешением воды, прошедшей стадию обезжелезивания и воды после первой ступени натрий-катионирования в различных объемных соотношениях.

Исследования проводились на модельной установке при температуре 120 °С и давлении 2 атм.

В результате установлено, что дозирование реагента АМИНАТ™ Кв в количестве 2-4 мг/л в воду, полученную смешением образцов жесткой и мягкой воды в объемном соотношении 5:1 и имеющую следующий химический состав Ж<sub>о</sub>=3,5 мг-экв/л Щ<sub>о</sub>=2,8 мг-экв/л рН=8,2 содержание железа 1,8 мг/л, полностью подавляет процесс накипеобразования о чем свидетельствует неизменность состава воды до и после эксперимента, а полученное после проведения эксперимента значение рН свидетельствует об отсутствии коррозионных свойств обработанной воды.

## **Таблица 2**

Оценка эффективности применения реагента АМИНАТ™ Кв для воды, полученной смешением умягченной воды с водой, прошедшую стадию обезжелезивания.

Пробы воды	Количество ингибитора АМИНАТ™ К, г/м³	Жо, мг-экв/л	Що, мг-экв/л	pH
Смесь: вода после обезжелезивания и вода после 1-ой ступени умягчения в объемном соотношении 5:1	2 4	3,5 3,5	2,7 2,8	8,7 8,9

Таким образом, результаты проведенных исследований доказали возможность применения для данной системы ГВС технологии стабилизационной обработки воды при использовании для подпитки воды, полученной смешением воды после обезжелезивания и воды после первой ступени умягчения в объемном соотношении 5:1.

На основании полученных результатов была разработана и внедрена технология стабилизационной обработки воды для системы ГВС котельной г. Старая Купавна при использовании для подпитки воды, полученной смешением питьевой и умягченной воды в объемном соотношении 1:5 и концентрации ингибитора от 2 до 4 г на каждый кубометр обрабатываемой воды.

Данные, полученные при запуске на объекте стабилизационной обработки воды с применением ингибитора АМИНАТ™ Кв представлены в таблице 3.

**Таблица 3**

Результаты химического контроля над стабилизационной обработкой воды системы ГВС.

Дата отбора пробы	Место отбора пробы	Ж общая мг-экв/л	Щ общая мг-экв/л	Железо мг/л	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>
1	2	3	4	5	6
28.01.14	Подпиточная Система ГВС	2,2	3,6	1,8	0,28
		2,4	3,6	2,5	0,27
4.02.14	Подпиточная Система ГВС	2,4	3,6	2,4	0,88
		2,6	3,8	2,7	0,27
15.02.14	Подпиточная Система ГВС	2,6	3,6	1,12	0,3
		2,6	3,6	1,12	0,3
4.03.14	Подпиточная Система ГВС	3,6	4,0	2,1	0,41
		3,4	4,0	2,2	0,28

Из данных таблицы 3 можно сделать следующие выводы:

- Постоянство значений величин общей жесткости в этих водах свидетельствует о подавлении в системе процесса накипеобразования.
- Неизменность содержания железа – об отсутствии коррозионных процессов.

#### Таблица 4

Результаты применения ингибитора отложений минеральных солей реагента АМИНАТ™ Кв на котельной г. Старая Купавна достигнуты следующие результаты (средние за месяц):

Показатель	До использования АМИНАТ™ К	После внедрения установки пропорционального дозирования АМИНАТ™ К	Ед. изм.
Количество регенераций фильтров Na-катионирования	199	80	шт.
Количество стоков	3184	1280	м <sup>3</sup>
Количество NaCl	2000	800	Кг
«сырая» вода	В среднем снижение на 2000 при постоянной подпитке		м <sup>3</sup>

Проанализировав работу котельной № 2 в отопительном сезоне 2014-2015 г.г., администрация ООО «КТС» и Служба водохимических режимов сделали следующие выводы о результатах внедрении новой технологии обработки подпиточной воды в котельной № 2 г. Старая Купавна:

1. В результате внедрения новой технологии обработки подпиточной воды на котельной г. Старая Купавна количество регенераций фильтров натрий-катионирован снизилось в 2,5 раза, количество высокоминерализованных стоков сократилось в 2,5 раза количество NaCl, идущего на регенерацию фильтров уменьшилось в 1,5 раза, количество сырой воды, идущей на собственные нужды установки умягчения снизилось в среднем на 2000 м<sup>3</sup> в сутки при постоянной подпитке (табл. 4).
2. Качество сетевой воды стало соответствовать нормам: вода стала прозрачной, без вкуса и запаха.
3. Из-за отсутствия в системе процесса накипеобразования ремонтные работы трубной части пароводяных подогревателей в 2015 г. не производились.

**«10-летний опыт применения реагентов АМИНАТ™  
в тепловом хозяйстве г. Волгограда»**

Докл. Чалышева Татьяна Михайловна начальник центра  
химического надзора МУП «Волгоградское коммунальное хозяйство».

МУП «Волгоградское коммунальное хозяйство» является крупнейшим предприятием г. Волгограда, обеспечивающим его централизованное теплоснабжение. В состав предприятия входят 124 котельные суммарной установленной мощностью 2457, 5 Гкал/ч. и протяженностью сетей 946,5 км.

В таком составе оно организовано 11 лет назад из разрозненных районных тепловых сетей. Котельные малой мощности либо не имели водоподготовки, либо оснащались только установками умягчения воды. В момент объединения многие котельные и сети находились в аварийном состоянии по причинам:

- грубейших нарушений водно-химических режимов;
- низкой квалификации персонала;
- отсутствие надлежащего химического контроля или

безграмотного химического контроля.

Образованная в то время химическая служба при полной поддержке руководства неуклонно проводит политику ужесточения и усовершенствования водно-химического режима (ВХР) котельных. В решении этих задач определяющую роль сыграло применение химических реагентов и в первую очередь отечественных реагентов марки АМИНАТ™.

Химические реагенты используются на различных этапах подготовки питательной воды систем теплоснабжения:

1. Химическое обескислороживание;
2. Корректировка значений pH;
3. Стабилизационная обработка сетевой воды с использованием ингибиторов накипеобразования;
4. Восстановление обменной емкости катионитов в натрий-катионитных фильтрах;
5. Предотвращение углекислотной коррозии паро-конденсатных трактов паровых котлов.

Основная проблема при обеспечении требуемого водно-химического режима состояла в предотвращении или ограничении кислородной и углекислотной коррозии котлов и тепловых сетей, которая была вызвана отсутствием деаэрационных установок или нарушением их режимов работы.



В 2004 г. на двух реконструированных котельных был внедрен коррекционный водно-химический режим водогрейных котлов с использованием химических реагентов. В качестве реагентов были опробованы как импортные, так и отечественные реагенты различных марок, среди которых Nalko BT-14, HydroChem 140 и АМИНАТ™ КО-2. На основании сопоставления цены, качества реагентов и условий применения, которые включали консультационную и технологическую поддержку специалистов, с 2005 г. в котельных г. Волгограда стали применять реагент АМИНАТ™ КО-2. В настоящее время 30 котельных нашего предприятия работают на полном химическом обескислороживании, позволяющем выдерживать нормы качества подпиточной и сетевой воды.

Но серьезные проблемы внутренней коррозии наблюдались и в крупных котельных, оснащенных деаэраторами. Это было вызвано двумя основными причинами. Во-первых, нестабильностью работы деаэраторов при повышенных нагрузках или сниженных температурных параметрах. Снижение температуры в деаэраторе до 60°C приводит к повышению содержания кислорода до 1500 мкг/кг.

Второй причиной внутренней коррозии является практика заполнения теплосетей в пусковые периоды умягченной недеаэрированной водой или сырой водой, аварийной подпиткой умягченной и сырой водой. В этих случаях в сети поступает огромное количества кислорода, что приводит к разрушительной коррозии котлов и теплосетей.

Именно этим было вызвано аварийное состояние теплосетей одного из районов города Тракторозаводского района. Поэтому в котельных этого района в 2009 г. установлены первые дозирующие установки для коррекционного химического дообескислороживания подпиточной воды после деаэратора.

Следующим важным направлением нашей работы по борьбе с внутренней коррозией является повышение pH подпиточной и сетевой воды. Для повышения pH применяется самый простой и недорогой реагент – едкий натр. Из-за отсутствия отдельных дозаторов приходилось смешивать АМИНАТ™ КО-2 и едкий натр в одной емкости, что приводило к снижению реакционной способности реагентов, образованию осадка, засорению дозаторов.

Поэтому в рамках программы модернизации последних лет является установка комплексов коррекционной обработки воды едким натром. В настоящее время у нас более 50 котельных имеют отдельные дозирующие комплексы коррекционной обработки воды едким натром.

Срок службы натрий-катионитовых фильтров во всех котельных предприятия в основном перешагнул критический рубеж. Затраты на замену и обслуживание неоправданно высоки. Ежегодно наше предприятие закупает более 2 000 т соли, следовательно, сбрасывает огромное количество жидких высокоминерализованных стоков. Уже одно это заставило задуматься о необходимости применения современной технологии с использованием ингибиторов накипеобразования и коррозии.

В связи с этим отдельным направлением в сотрудничестве с ООО «НПФ «Траверс» является организация стабилизационной технологии обработки воды с применением ингибитора накипеобразования АМИНАТ™ А. Негативный опыт использования данной технологии в 90-х годах был связан часто с отсутствием специалистов на этапе внедрения и отсутствием необходимого химического контроля.

В настоящее время АМИНАТ™ А успешно используется в котельных 101 квартала и 58 квартала г. Волгограда. Причем реагент надежно обеспечивает безнакипный режим работы жаротрубных котлов, характеризующихся высокими температурами теплообменных поверхностей и более низкими скоростями движения сетевой воды.

Кроме того, для удаления соединений железа с поверхности катионитов в водоподготовительных установках котельных г. Волгограда успешно применяется реагент АМИНАТ™ ДС. В результате восстановления обменной емкости фильтроцикл катионитов увеличивался на 30-40%, что привело к значительному сокращению соли на регенерацию и сокращения объема жидких высокоминерализованных стоков.

В 2012 г. для защиты трубопроводов и оборудования (бойлеров, теплообменников и т.п.) паро-конденсатных трактов котельных, эксплуатирующих паровые котлы, и использующих конденсат для подпитки тепловых сетей конденсат было начато внедрение реагента АМИНАТ™ ПК-1.

Много лет в паровой котельной ДОЗ им. Куйбышева для подпитки тепловых сетей использовался конденсат. Высокая

степень коррозии трубопроводов паро-конденсатного тракта и тепловых сетей приводила к аварийной остановке водогрейного котла ДКВР-10/13 из-за разрыва труб. В результате внедрения АМИНАТ™ ПК-1 содержание железа в сетевой воде в течение отопительного периода было снижено с 8-10 мг/л до нормируемых значений. Внутренняя поверхность барабанов и паровых и водогрейных котлов полностью очищена от отложений. Сразу после испытаний коррекционный водно-химический режим паровых котлов с использованием АМИНАТ™ ПК-1 был организован в котельной Водстрой.

Анализ результатов 10-летнего сотрудничества специалистов ООО «НПФ «Траверс» и предприятия МУП «Волгоградское коммунальное хозяйство» показал эффективность применения реагентов марки АМИНАТ™ и надежность в обеспечении ВХР систем теплоснабжения.

**«Исследование эффективности обескислороживания воды реагентами на основе сульфита и метабисульфита натрия»**

Докл. Бутакова Мария Вадимовна инженер-технолог,  
соавтор Гусева Ольга Владимировна  
начальник отдела водоподготовки ООО «ОТК».

Обескислороживание воды является одним из основных этапов подготовки подпиточной воды для теплосетей и питательной воды для паровых котлов. Традиционно обескислороживание осуществляется в деаэраторах различного рабочего давления, однако для большинства существующих котельных систем теплоснабжения установка деаэратора не была предусмотрена проектом. В связи с повышением требований к надежности эксплуатации энергетического оборудования теплосетей проблема обескислороживания является актуальной.

В отсутствии деаэраторов для обескислороживания воды и предотвращения кислородной коррозии, в настоящее время все чаще применяют коррекционные методы подготовки воды с использованием химических реагентов, как отечественного, так и зарубежного производства.

В энергетике хорошо известен метод сульфитирования, в основе которого лежит процесс связывания остаточного кислорода сульфитом натрия. Сульфит натрия в основном используется для дообескислороживания питательной воды паровых котлов низкого и среднего давления (ниже 4,0 МПа). [2] При этом на крупных ТЭС рабочий раствор сульфита готовят в специализированных герметичных баках, во избежание окисления реагента. Котельные промышленных предприятий различной мощности не всегда оснащены необходимым оборудованием для приготовления сульфита натрия. Именно из-за этих возникающих трудностей для химического обескислороживания питательной воды специалистами компании ООО «НФП Траверс» были разработаны реагенты АМИНАТ™ КО-2Н и АМИНАТ™ КО-2.

Эффективность процессов обескислороживания зависит от многих факторов: температуры, pH, щелочности обрабатываемой воды и избытка сульфит-ионов. Оптимальный эффект обескислороживания при сульфитировании достигается в условиях температуры обрабатываемой воды выше 70°C. Однако, в системах теплоснабжения реагенты, как правило, дозируются в химически очищенную воду, температура которой

колеблется от 5-20°C, от чего и скорость реакции падает, а остаточное содержание растворенного кислорода не соответствует принятым нормам ПТЭ содержание растворенного кислорода в подпиточной воде должно быть не более 20 мкг/дм<sup>3</sup>.

С целью изучения кинетики процесса обескислороживания в условиях низких температур (диапазон 10-25°C) были проведены исследования эффективности процесса обескислороживания с использованием реагентов АМИНАТ<sup>TM</sup> КО-2Н и АМИНАТ<sup>TM</sup> КО-2.

В ходе опытов содержание растворенного кислорода определялось кислородомером «Марк 302Т» с проточной ячейкой, по окончании опытов отбирались пробы в конические колбы которые герметично закрывались пробками и вода нагревалась до температуры 60-70 С.

Первая серия опытов проводилась на московской водопроводной воде с Що=2,5 мг-экв/л и рН =7,0-7. Исходное содержание кислорода в опытах колебалось в диапазоне 9-11 мг/л. При расчете доз реагентов принимался различный избыток. В результате проведения опытов был определен оптимальный избыток сульфитов в температурном диапазоне 10-25°C, равный 10 мг/л. Замечено, что при увеличении температуры даже на 4°C происходит явное увеличение эффективности работы реагентов.

Вторая серия опытов проводилась на пермеате с добавлением реагентов АМИНАТ<sup>TM</sup> КО-2 и АМИНАТ<sup>TM</sup> КО-2Н. Из анализа полученных данных, было определено, что для эффективного связывания растворенного кислорода существует диапазон оптимальных значений рН, при котором скорость реакций максимальна.

Необходимо отметить, что при нагревании обрабатываемой воды выше 60°C оба реагента обеспечивали практически полное связывание растворенного кислорода (до 5-10 мкг/л).

В связи с разнообразием исходных вод, используемых в системах теплоснабжения и различными температурными условиями применения химических реагентов для коррекционной обработки воды, проведенные исследования, имеют важное практическое значение.

#### Список литературы

1. Акользин П.А. Коррозия и защита металла теплоэнергетического оборудования. М.:Энергоиздат, 1982
2. Субботина Н.П. Водный режим и химический контроль на ТЭС М.:Энергоатомиздат, 1985.
3. Стерман Л.С., Покровский В.Н. Физические и химические методы обработки воды на ТЭС М.:Энергоатомиздат, 1991.
4. Правила эксплуатации электр-х станций и сетей РФ. М.: Омега-Л, 2004.

**«Особенности организации коррекционных водно-химических режимов змеевиковых парогенераторов с использованием реагентов АМИНАТ™»**

Докл. Белканова Мария Алексеевна инженер-технолог,  
соавтор Гусева Ольга Владимировна  
начальник отдела водоподготовки ООО «ОТК».

В настоящее время на отечественных промышленных предприятиях все большее применение находят змеевиковые парогенераторы (ПГ) низких давлений (ниже 3,8 Мпа). При этом основными поставщиками ПГ являются в основном зарубежные производители, такие как Booster (Корея), Amelin ( Канада), Biasi (Италия), STEAM (Финляндия), Babcock Wanson (Франция, Италия, UK, Испания) и другие.

Широкому внедрению этих котлов способствовали их преимущества: пар генерируется через несколько минут после включения котла, экономный расход топлива, малые габариты, простота эксплуатации и технического обслуживания т.п.

В отличие от барабанных котлов, в змеевиковых парогенераторах нагрев и испарение воды осуществляется за один проход среды по тракту, т.е. питательная вода, пройдя последовательно все поверхности нагрева, целиком превращается в пар. Движение теплоносителя – воды, пароводяной смеси и пара – осуществляется за счет принудительной циркуляции, создаваемой насосом. При этом примеси, поступающие с питательной водой, не могут быть выведены из котла с продувкой части котловой воды, как у барабанных паровых котлов. Поэтому часть примесей может осаждаться на внутренней поверхности труб, а часть уноситься с паром. В связи с этим требования к качеству питательной воды должны быть более жесткими, обеспечивая получение чистого пара и ограничение образования отложений в змеевиках котлов.

В первую очередь качество питательной воды зависит от схемы водоподготовительной установки (ВПУ). Поэтому, например, для прямоточных котлов высокого давления предусматривается полное химическое обессоливание воды – схема двух или трех-ступенчатого Н-ОН – ионирования. В отсутствии примесей, которые могут приводить к накипеобразованию, дополнительная коррекционная обработка питательной воды практически не предусматривается.

Для змеевиковых ПГ низкого давления применяются в основном упрощенные схемы водоподготовки. В настоящее время самой распространенной схемой ВПУ является двухступенчатое Na-катионирование. Однако для природных вод, характеризующихся часто повышенной щелочностью и концентрацией сульфат-ионов, возникает опасность выпадения труднорастворимых солей жесткости на трубках змеевиков даже при предварительном умягчении воды. Оптимальными схемами ВПУ для змеевиковых прямоточных котлов являются схемы H-Na-катионирования или комбинированные схемы установок обратного осмоса (УОО) и натрий – катионирования. В этом случае помимо снижения жесткости уменьшается содержание бикарбонат- и сульфат-ионов. Эти схемы могут обеспечивать более экономичную работу ПГ за счет увеличения концентрирования питательной воды, но они также полностью не устраняют опасности образования отложений на стенках змеевиков. Поэтому для змеевиковых парогенераторов необходимо разрабатывать коррекционные водно-химические режимы, обеспечивающие безнакипные условия их работы.

Однако вопросу организации надежного водно-химического режима змеевиковых парогенераторов как зарубежные, так и отечественные производители не уделяют достаточного внимания. При этом требования к качеству питательной и котловой воды ПГ, предъявляемые различными производителями, так же подчас не обоснованы и не могут обеспечивать надежную и безаварийную работу парогенераторов.

Анализ норм качества питательной воды змеевиковых парогенераторов показал, что все производители регламентируют в первую очередь значения жесткости, но разброс показателей находится в довольно широких пределах от 0,005 до 0,1 мг-экв/л. Основными труднорастворимыми и накипеобразующими соединениями являются карбонат кальция  $\text{CaCO}_3$ , гидрат окиси магния  $\text{Mg(OH)}_2$  и сульфат кальция  $\text{CaSO}_4$ . Следовательно, помимо жесткости необходимо нормировать так же и щелочность питательной воды. Но производители, как правило, не нормируют этот показатель, за исключением фирмы Booster, что является существенным упущением.

Необходимо отметить, что значения щелочности в химочищенной воде может колебаться в широких пределах и достигать 6-7 мг-экв/л. Это приведет к повышению



интенсивности процессов накипеобразования и вынужденным продувкам ПГ. В связи с этим, важной задачей является подбор реагентов для предотвращения отложений труднорастворимых соединений.

На практике для змеевиковых ПГ часто используют реагенты, разработанные для барабанных паровых котлов на основе неорганических полифосфатов. В результате проведение метода «фосфатирования» образование солей жесткости переводится с поверхности в объем, а неприкипающий шлам выводится из барабанных паровых котлов с продувкой. В змеевиковых ПГ, как отмечалось выше, кипение воды происходит в трубках, поэтому использование фосфатных реагентов недопустимо, т.к. образующийся шлам может приводить к их забиванию.

Одним из способов предотвращения накипеобразования на поверхности парогенераторов может рассматриваться использование ингибиторов накипеобразования на основе органофосфонатов (антинакипинов). Однако, эффективность данной технологии в первую очередь зависит от концентрации накипеобразующих ионов, т.е. от величины пересыщения по труднорастворимым соединениям. При кипении воды и ее упаривании в трубках ПГ концентрация накипеобразующих ионов достаточно велика и с ростом температуры величина пересыщения резко возрастает, поэтому применение таких реагентов становится не эффективным даже при больших дозах. Дополнительной причиной понижения эффективности органофосфатов является и их гидролиз при высоких температурах и разложение до фосфатов, что в результате может привести к выпадению труднорастворимых соединений.

Анализ предлагаемых реагентов для коррекционной обработки питательной воды змеевиковых парогенераторов показал, что реагенты для предотвращения накипеобразования на трубках змеевиков производители котлов, как правило, не поставляют. Исключением являются только производители змеевиковых парогенераторов фирмы AMELIN, которые поставляют ингибиторы накипеобразования, разработанные для своего оборудования. Однако использование данного ингибитора (марки AMELIN 807) для других змеевиковых парогенераторов вряд ли возможно, т.к. неизвестен химический состав и расчет дозы реагента в зависимости от компонентного состава питательной воды.

ООО «НПФ «Траверс» разработал реагент АМИНАТ™ КО-3п для предотвращения накипеобразования в змеевиковых ПГ на основе натриевых солей органических комплексообразователей с различной степенью замещения. Реагент обеспечивает безнакипный режим работы ПГ за счет перевода катионов жесткости и продуктов коррозии в растворенное состояние. Доза реагента рассчитывается на основании значений жесткости и содержания железа в питательной воде.

Реагент АМИНАТ™ КО-3п эффективен в широком диапазоне температур работы оборудования и позволяет надежно обеспечить безнакипный режим работы змеевиковых ПГ низкого давления различных производителей.

Второй важной задачей при организации водно-химического режима парогенераторов является ограничение протекания процессов коррозии. Основными факторами, определяющими протекание процессов коррозии, являются растворенные в воде кислород и уголекислота, для удаления которых, в схемах подготовки питательной воды паровых котлов предназначены деаэраторы. Однако для змеевиковых прямоточных котлов установка деаэратора часто не предусмотрена, а предусмотрено только частичное удаление агрессивных газов из воды в питательном баке. При этом глубина удаления агрессивных газов зависит от температуры нагрева питательной воды. Температура нагрева воды в питательных баках обычно колеблется в пределах 70-85°С, остаточное содержание кислорода при этом будет составлять от 1,5 до 3,5 мг/дм<sup>3</sup>. При нормативных требованиях производителей по содержанию кислорода на уровне 10-50 мг/дм<sup>3</sup> необходимо также предусмотреть дозирование реагентов для химического дообескислороживания питательной воды. Практически все производители рекомендуют для связывания кислорода реагенты на основе сульфита и метабисульфита натрия. В перечне продукции ООО «НПФ «Траверс» к таким реагентам относятся АМИНАТ™ КО-2 и АМИНАТ™ КО-2н.

Для защиты питательного тракта от уголекислотной коррозии необходимо поддерживать значение pH воды не менее 8,5 ед., что обеспечит отсутствие растворенной уголекислоты в питательной воде. Производители же устанавливают свои рамки этих показателей и нижний предел составляет 6-7 ед. pH. При

таких значениях остаточное содержание углекислоты в питательной воде может достигать 15-20 мг/л.

Таким образом, для поддержания значений pH 8,5 и выше, необходимо применять коррекционную обработку питательной воды. С целью повышения pH можно использовать реагенты на основе сильной щелочи (АМИНАТ™ КО-5). Специалисты ООО «НПФ «Траверс» рекомендуют использовать реагент АМИНАТ™ КОЗ-п с повышенным значением pH, который позволит не только предотвратить процессы накипеобразования, но и корректировать значение pH питательной воды.

## **«Экологически безопасные ингибиторы коррозии марок ОПЦ для систем водооборота»**

Докл. к.т.н. Хасанова Дильяра Ильгизовна начальник лаборатории антикоррозионных процессов), соавторы Кирилова Марина Александровна инженер-технолог 2-ой категории лаборатории антикоррозионных процессов; Гильмулина Асия Ренатовна инженер-технолог 1-ой категории лаборатории антикоррозионных процессов НТЦ ПАО «Нижнекамскнефтехим».

В настоящее время в большинстве нефтехимических и нефтеперерабатывающих компаниях РФ в системах оборотного водоснабжения преобладающим остается использование реагентов зарубежных компаний. Этим можно объяснить актуальность и важность задачи создания эффективных, экологически безопасных технологий обработки систем водооборота. В связи с наметившейся тенденцией ограничения применения фосфатов среди ингибиторов коррозии и солеотложений в последнее время особый интерес представляют ингибиторы полимерного типа, которые привлекают низкой токсичностью, доступностью, а также возможностью их полифункционального применения.

В работе представлены результаты испытаний разработанных новых экологически безопасных ингибиторов коррозии и солеотложений. Для систем водооборота с низким и средним солесодержанием исследовался ингибитор марки ОПЦ-800, представляющий собой многокомпонентную композицию на основе водорастворимых полимеров и органических соединений фосфора, в состав которой не входят ортофосфаты. Доза реагента 20-50 мг/дм<sup>3</sup> в зависимости от общего солесодержания оборотной воды. ОПЦ-900 – новая экологичная композиция для систем с высоким солесодержанием, которая представляет собой смесь органофосфонатов, применяется совместно с ОПЦ-301 – диспергатором на основе водорастворимых полиакрилатов. Доза реагента ОПЦ-900 – 15-30 мг/дм<sup>3</sup>, ОПЦ-301 – 10-20 мг/дм<sup>3</sup>. Реагенты ОПЦ-800, ОПЦ-900 и ОПЦ-301 по классификации ГОСТ 12.1.007-76 относятся к IV классу малоопасных веществ.

Исследования проводились на модельной воде – имитате оборотной воды с определенным коэффициентом упаривания. Электрохимическими исследованиями на потенциостате ПИ 50.1-1 установлено, что введение ингибитора ОПЦ-800 в испытуемую среду приводит к сокращению времени

установления стационарного потенциала до 20-30 мин. (рис. 1). При этом происходит сдвиг стационарного потенциала углеродистой стали (Ст3) в положительную сторону от (-450) до (-255) мВ (н.в.э.), что свидетельствует об уменьшении скорости коррозии за счет протекания адсорбционных процессов, подавляющих преимущественно анодное растворение металла. Результаты исследований ОПЦ-900 (рис. 2) показали, что при введении ингибитора происходит снижение плотности тока на порядок, что свидетельствует о снижении коррозии в 10 раз и более.

Исследуемые композиции оказывают влияние на кинетику обеих электродных реакций. Ингибиторы коррозии ОПЦ-800 и ОПЦ-900 обладают смешанным действием защиты. Коррозионную активность воды исследовали по показателю «мгновенная скорость коррозии» с помощью портативного коррозиметра «Эксперт-004», данные которого хорошо согласуются с результатами гравиметрических измерений на образцах-купонах. Низкие значения скорости коррозии купонов (Ст3), установленных в змеевике на линии обратной оборотной воды, в пределах 0,0046-0,011 мм/год свидетельствует об очень высокой эффективности ингибитора ОПЦ-800. Необходимо отметить, что добиться подобных результатов с другими ингибиторами не удавалось (рис. 3).

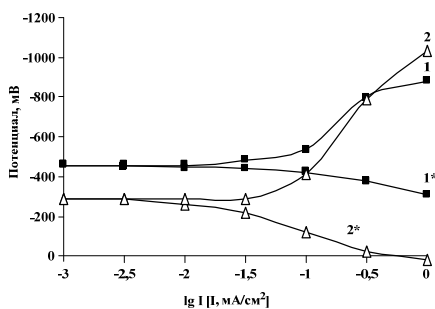


Рис. 1

Катодные (1, 2) и анодные (1\*, 2\*) потенциостатические кривые стали Ст3 в модельной воде при 50°C:

1 контроль без ингибитора; 2 с добавкой 30 мг/дм<sup>3</sup> ОПЦ-800.

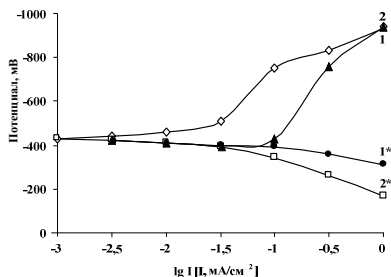


Рис. 2

Катодные (1, 2) и анодные (1\*, 2\*) потенциостатические кривые стали Ст3 в модельной воде при 50°C:

1 контроль без ингибитора;

2 с добавкой 25 мг/дм³ ОПЦ-900 и 15 мг/дм³ ОПЦ- 301.

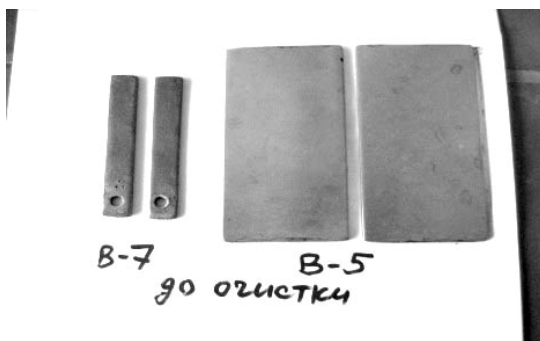


Рис. 3

Вид образцов-свидетелей после месяца экспозиции в системе В-5,7.

Ингибитор коррозии и солеотложений марки ОПЦ-800 успешно используется в системах оборотного водоснабжения нефтехимических производств, таких как ПАО «Нижнекамскнефтехим», ОАО «Танеко», ОАО «Казаньоргсинтез», ОАО «ТАИФ-НК».

Предложенные ингибиторы позволяют снизить экологический ущерб за счет снижения биогенного фосфора и сульфатов (за счет отказа от подкисления) в сточных водах, что и характеризует данные разработки, как экологически безопасные технологии.

## **«Результаты внедрения реагентов АМИНАТ™ для организации ВХР оборотной системы цеха №12 ЗАО «РНПК»**

Докл. Мехина Ольга Петровна инженер-технолог ООО «ОТК», соавторы  
Рудакова Галина Яковлевна ведущий научный сотрудник лаборатории  
воды и теплоносителя, Комбарова Светлана Петровна  
ведущий научный сотрудник лаборатории воды и теплоносителя  
ПАО НЦ «Малотоннажная химия».

В рамках программы импортозамещения специалистами ООО «НПФ «Траверс» были проведены работы по замене реагентов фирмы NALCO на реагенты АМИНАТ™ собственного производства в водно-химическом режиме оборотной системы цеха №12. Основной задачей ВХР любой водооборотной системы является подавление в ней процессов солеотложений и коррозии, а также борьба с биообрастаниями. Согласно рекомендациям сотрудников фирмы NALCO для подавления в системе процессов солеотложения и коррозии применялась обработка добавочной воды реагентом 3DTRASAR 3DT 187 на основе ортофосфорной кислоты. Биоцидная обработка добавочной воды проводилась окисляющим биоцидом реагентом СТАБРЕКС СТ-70 на основе стабилизированного раствора брома и неокисляющим биоцидом реагентом Налко 7330 на основе изотиазолина.

В качестве биодисперсанта использовался реагент Налко 73550. При проскоке в систему нефтепродуктов в оборотную воду дозировался дисперсант нефтепродуктов Налко 7313. Для выявления проблем, возникших при эксплуатации данной водооборотной системы с использованием реагентов Nalko, был проведен химический анализ образцов добавочной и оборотной воды. Показатели качества воды определяли стандартными методами по ГОСТ. Эффективность биоцидной обработки воды определяется с помощью биотестов. Полученные результаты приведены в таблице 1.

**Таблица 1. Результаты химического анализа образцов воды**

Показатели качества	Ед. изм.	Результаты измерения		Куп
		Добавоч. вода	Обор. вода	
Жесткость общая	мг-экв/л	2,0	5,2	2,6
Щелочность общая	мг-экв/л	0,7	1,3	
Фосфаты	Мг/л	0,4	1,4	
Железо	Мг/л	0,05	3,6	
Электропроводность	мкСм/л	309	670	2,2
Хлориды	Мг/л	30	78	2,6
pH	Ед. pH	10,0	7,8	
ОМЧ	RLU	0	539	

Анализ результатов применения реагентов фирмы NALCO показал высокую эффективность применяемых реагентов в качестве ингибиторов солеотложений, что подтверждается равенством значений коэффициентов упаривания по таким показателям, как общая жесткость, электропроводность и хлориды.

При этом следует отметить высокую коррозионную активность воды, обработанной реагентами фирмы Nalko, приводящую к значительному повышению железа в циркуляционной воде (до 3-4 мг/л). Скорость коррозии Ст 20-материала охлаждаемого оборудования, измеренная гравиметрическим методом с помощью купонов-индикаторов составила 0,38 мм/год при норме 0,1-0,2 мм/год.

Кроме этого величина ОМЧ доказывает недостаточную эффективность биоцидной обработки.

Таким образом, учитывая наличие в данной системе охлаждения коррозионных процессов материалов оборудования, основной задачей ВХР данной системы помимо достижения безнакипного режима работы при достаточно высоком значении коэффициента упаривания (с целью сокращения потребления воды и уменьшения количества высокоминерализованных стоков) является подавление коррозионных процессов.

В результате исследований, проведенных на стендовой модельной установке ООО «НПФ «Траверс», разработана технология стабилизационной обработки воды с применением ингибиторов марки АМИНАТ™.

АМИНАТ™ А представляет собой водный раствор смеси солей фосфоновых кислот. Применяется для обработки подпиточной воды в системах охлаждения и закрытых системах теплоснабжения, обеспечивает практически полное предотвращение процессов накипеобразования и коррозии.

Проведенные лабораторные исследования показали, что применение реагента АМИНАТ™ А в количестве 20-25 г на каждый кубометр обрабатываемой воды позволяет работать данной системе в безнакипном режиме при значении коэффициента упаривания 2,5 при значительном (не менее, чем на 90%) снижении скорости коррозии материалов теплообменного оборудования углеродистой стали.

Одной из причин, значительно снижающих эффективность работы водооборотных систем, являются



биологические обрастания, поэтому биоцидная обработка добавочной воды является обязательной стадией ВХР любой водооборотной системы охлаждения.

При отработке нового ВХР было решено для бактерицидной обработки воды использовать один биоцид - реагент АМИНАТ™ БП – на основе полигуанидинов. Применение АМИНАТ™ БП на основе полигуанидинов взамен двух биоцидов – окисляющего бромсодержащего биоцида и неокисляющего биоцида на основе изотиазолина объясняется наличием у АМИНАТ™ БП активности не только по отношению к бактериям и грибам, но и в некоторой степени к водорослям. АМИНАТ™ БП дозируется два раза в неделю по 20 дм<sup>3</sup>.

В качестве биодисперсанта решено использовать реагент АМИНАТ™ БК на основе четвертичных аммониевых оснований для «шоковой» обработки системы 2-3 раза в год (по 400 кг).

При проскоках в систему нефтепродуктов предлагается обработка оборотной воды дисперсантом нефтепродуктов реагентом АМИНАТ™ НД на основе оксиалкилированных гликолей (в количестве 6-12 дм<sup>3</sup>).

Для запуска технологии стабилизационной обработки воды реагентами АМИНАТ™ было решено использовать имеющееся оборудование. На оборотной системе 5-секционной градирни установки цеха №12 ЗАО «РНПК» дозирование ингибитора отложений минеральных солей и коррозии АМИНАТ™ А осуществляется в постоянном режиме количестве 0,9 л/ч. при объеме подпитки 50 м<sup>3</sup>/ч. пропорционально объему подпитки.

Дозирование ингибитора осуществляется с помощью дозирующего насоса Grundfos DME 2-18. Добавление биоцида и дисперсанта нефтепродуктов осуществляется в циркуляционный трубопровод в ручном режиме с помощью погружных насосов из расчета общего объема воды в системе. Постоянная продувка проводится 3-5 м<sup>3</sup>/ч., после обработки системы реагентом АМИНАТ™ БК объем продувки увеличивается в течение суток в 2-3 раза.

Показатели качества воды, полученные в результате применения реагентов АМИНАТ™, приведены в таблице 2.

**Таблица 2**

Сравнительный анализ образцов воды после обработки реагентами Налко и АМИНАТ™

Показатели качества	Подпиточная вода	Вода после обработки реагентами Налко	Вода после обработки реагентами АМИНАТ™
рН	10,3	7,4	8,2
Жесткость, мг-экв/дм³	1,3	4,0	4,0
Хлориды, мг/дм³	30	87	89
Железо, мг/дм³	0,1	3,6 - 1,7	0,36-0,45
Фосфаты, мг/дм³	0,08	0,75	1,14
ОМЧ,RLU	-	539	24

Из данных таблицы 2 видно, что обработка добавочной воды реагентами АМИНАТ™ привела к подавлению в системе коррозионных процессов, что подтверждается значительным снижением концентрации железа в оборотной воде. Регулярная обработка системы (2 раза в неделю по 20 дм³) биоцидом АМИНАТ™ БП, а также шоковая обработка системы биодиспергатором АМИНАТ™ БК снизили величину ОМЧ с 539 до 5RLU. Допустимая глубина распада жесткости составила  $\leq 0,3$  мг-экв/л.

Для определения гравиметрическим методом величины скорости коррозии основного материала оборудования водооборотной системы СтЗ на байпасной линии на месячный срок был установлен купон-индикатор коррозии, в результате чего определена скорость коррозии, равная 0,08 мм/год при норме 0,1-0,2 мм/год.

Обработка добавочной воды водооборотной системы реагентами АМИНАТ™ проводится с 15 августа 2014 г. по настоящее время. Даже кратковременное снижение дозы АМИНАТ™ А в течение января 2015 г. до 0,3 л/ч. (снижение в 3 раза) не повлияло на показатели качества оборотной воды.

Таким образом, замена ингибитора Налко 3DTRASAR 3DT 187 на основе ортофосфорной кислоты на реагент АМИНАТ™ А на основе смеси солей фосфоновых кислот привело к подавлению в системе процессов и солеотложений и коррозии при значении коэффициента упаривания от 2,5 до 3. Использование же биоцида АМИНАТ™ БП и биодиспергатора АМИНАТ™ БК позволило снизить биообрастания системы, уменьшив ОМЧ более чем в 100 раз.

## **«Современные методы анализа содержания и механизма действия реагентов АМИНАТ™ серии ПК и АМИНАТ™ серии ВО»**

Докл. к.т.н. Дикарева Юлия Михайловна заведующая аналитическим отделом, соавторы к.т.н. Ганина Любовь Владимировна инженер-технолог ПАО НЦ «Малотоннажная химия»; Белканова Мария Алексеевна инженер-технолог ООО «НПФ «Траверс».

ООО «НПФ «Траверс» разрабатывает и успешно внедряет реагенты для поддержания коррекционных водно-химических режимов (ВХР) различного теплообменного оборудования: паровых и водогрейных котлов, бойлеров, теплообменников оборотных систем водоснабжения и т.п. В ходе эксплуатации оборудования необходим контроль качества теплоносителя (воды, пара, конденсата) и контроль содержания дозируемых реагентов. Кроме того, необходима и оценка эффективности организуемого коррекционного ВХР, которая дополнительно проводится по состоянию поверхности металла трубопроводов и оборудования.

Разработкой новых методик анализа содержания реагентов в теплоносителях, применением современных методов контроля качества воды и оборудования нового поколения для определения состава отложений и состояния поверхности занимаются специалисты ПАО НЦ «МТХ». В совокупности проведение этих работ позволяет определить не только эффективность работы реагентов, но и механизм их действия.

Так, на примере реагентов АМИНАТ™ серии ПК можно продемонстрировать результат совместной работы специалистов ООО «НПФ «Траверс» и ПАО НЦ «МТХ».

Реагенты АМИНАТ™ серии ПК предназначены для предотвращения углекислотной коррозии паро-конденсатного тракта паровых котлов низкого, среднего и высокого давления. Реагенты могут вводиться в любую точку питательного и паро-конденсатного тракта, при этом связывая и нейтрализуя свободную углекислоту.

Реагенты АМИНАТ™ серии ПК представляют собой смесь трех нейтрализующих аминов (алифатических и циклических) в различных соотношениях. Как отечественные, так и зарубежные производители аналогов данных реагентов контролируют их внедрение и эффективность только по значению pH конденсата. Некоторые компании предлагают ряд методик для определения содержания реагента по одному из компонентов и

последующего пересчета на композицию. Однако такой пересчет является условным и не всегда корректным, так как в данном случае не учитываются коэффициенты распределения компонентов между жидкой и паровой фазой, различия механизмов их действия.

Обзор литературных данных показал разнообразие методов определения аминов, однако большинство методов достаточно избирательны и позволяют определять лишь конкретную группу аминов. При разработке методики предпочтительным представлялся метод анализа по функциональной группе. Из рассмотренных вариантов был выбран метод с использованием химического соединения, взаимодействующего со всеми аминами, присутствующими в реагенте (первичный, вторичный, третичный амины).

Была разработана методика определения содержания реагентов АМИНАТ™ серии ПК, позволяющая определять амины в широком диапазоне концентраций от 0,5 до 20 мг/дм<sup>3</sup>.

Определение основано на окислении йодида калия хлорсодержащими соединениями, образующимися при взаимодействии аминов, содержащихся в реагенте, с гипохлоритом натрия, до йода, который определяют фотоколориметрически по поглощению йод-крахмального комплекса [1].

Данный метод достаточно прост в исполнении, не требует сложного оборудования, пробоподготовки, легко применим в промышленных лабораториях.

При проверке пригодности указанной методики для определения концентрации реагентов были построены градуировочные графики для композиций, а также для отдельных аминов, входящих в состав смеси. Полученные данные свидетельствуют, что рассматриваемый метод позволяет определять в сильно разбавленных растворах отдельные амины, причем во всех случаях наблюдается линейная зависимость величины оптической плотности от содержания амина в пробе. Более того, полученные данные коррелируют с содержанием в пробах органического (аминного) азота и подчиняются принципу аддитивности.

Для повышения точности определений были предложены два диапазона концентраций: от 0,5 до 2,0 вкл. мг/дм<sup>3</sup> и от 2,0 до 20,0 мг/дм<sup>3</sup>. Метод обладает хорошей воспроизводимостью и удовлетворительной точностью. При соблюдении всех

регламентированных условий и проведении анализа в точном соответствии с разработанной методикой значение относительной погрешности результатов измерений не превышает  $\pm 22\%$  в диапазоне концентраций от 0,5 до 2,0 вкл. мг/дм<sup>3</sup>;  $\pm 10\%$  от 2,0 до 20,0 мг/дм<sup>3</sup> при  $P=0,95$ .

Результаты внедрения реагентов АМИНАТ™ серии ПК показали, что на поверхностях оборудования и трубопроводов было обнаружено наличие защитной пленки. Анализ поверхности образующейся пленки на электронном сканирующем микроскопе Hitachi TM-3030 показал изменение структуры поверхности металла, однако компонентный состав пленки не позволил однозначно установить механизм взаимодействия нейтрализующих аминов с поверхностью металла. Поэтому на следующем этапе исследований состав пленки изучали с применением дополнительного вспомогательного метода – метода ИК-спектроскопии пленки. Было обнаружено, что в спектре полученной пленки присутствовали характерные пики, по которым можно судить о наличии связей железа с органическим углеродом, что свидетельствует о физико-химической адсорбции соединений, входящих в составы реагентов АМИНАТ™ серии ПК, на поверхности металла [2].

Такой комплексный подход с использованием современного оборудования позволяет не только анализировать механизм и эффективность применения уже широко известных реагентов, но и разрабатывать и внедрять реагенты нового поколения.

Одной из последних разработок ООО «НПФ «Траверс» являются реагенты АМИНАТ™ серии ВО, представляющие собой водные растворы карбогидразида и предлагаемые в качестве альтернативы гидразину в связи с его высокой токсичностью.

Реагенты предназначены для паровых котлов средних и высоких параметров и дозируются с целью уменьшения содержания кислорода в основном конденсате и снижения скорости коррозии конденсатного тракта.

В настоящее время на тепловых электростанциях применяют импортный реагент «ЭЛИМИНОКС» также на основе карбогидразида. Несмотря на важность контроля карбогидразида в воде, регламентированные методы его определения отсутствуют. Поставщиками реагента

специалистам станций предлагается экспресс-набор для определения содержания карбогидразида с портативным фотоколориметром. Метод основан на измерении светопоглощения комплекса железа (II) с реактивом, который комплектуется в наборе и поставляется только с ним. При рабочих концентрациях карбогидразида в питательной воде порядка 10-80 мкг/дм<sup>3</sup> предложенный метод ориентирован на широкий диапазон концентраций от 0 до 500 мкг/дм<sup>3</sup>, что приводит к увеличению погрешности определения.

Специалистами ПАО НЦ «МТХ» и ООО «НПФ «Траверс» совместно была разработана методика определения содержания карбогидразида в питательной воде в диапазоне рабочих концентраций реагентов от 2 до 50 мкг/дм<sup>3</sup>.

Определение массовой концентрации карбогидразида основано на реакции восстановления железа и фотоколориметрическом определении комплексных соединений железа (II) [3]. Метод предполагает применение распространенных в России доступных реактивов. Фотометрические методы определения железа с окрашенными реагентами хорошо известны, отличаются высокой чувствительностью и специфичностью.

В ходе разработки методики было установлено, что основными факторами, определяющими реакцию восстановления железа карбогидразидом, являются температура и время реакции. По результатам исследований выбраны оптимальные условия, обеспечивающие кинетическую стабильность и полноту протекания реакции восстановления железа карбогидразидом. Были предложены два диапазона концентраций: от 2,0 до 5,0 вкл. мкг/дм<sup>3</sup> и от 5,0 до 50,0 мкг/дм<sup>3</sup>. В выбранных условиях и диапазоне концентраций зависимость оптической плотности от содержания карбогидразида носит линейный характер.

Разработанная методика обеспечивает достаточный уровень погрешностей и отвечает требованиям аналитического контроля. При проведении анализа в соответствии с разработанной методикой значение относительной погрешности результатов измерений не превышает  $\pm 24\%$  в диапазоне концентраций от 2,0 до 5,0 вкл. мкг/дм<sup>3</sup> и  $\pm 18\%$  в диапазоне концентраций от 5,0 до 50,0 мкг/дм<sup>3</sup> при  $P=0,95$ .

Разработанные методики определения содержания реагентов АМИНАТ™ серии ПК и АМИНАТ™ серии ВО

аттестованы Федеральным Государственным унитарным предприятием «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы» (ФГУП «ВНИИМС»).

#### Список литературы

1. Методические указания по фотометрическому измерению концентрации третичных жирных аминов и аминоспиртов (триэтиламина, диметиламиноэтанола, диэтилэтаноламина, триэтаноламина) в воздухе рабочей зоны. Утверждены 06.09.1983 № 2911-83.
2. Накамото К. ИК-спектры и спектры КР неорганических и координационных соединений: Пер. с англ. – М.: Мир, 1991. – 536 с., ил.
3. ГОСТ 10555-75 Реактивы и особо чистые вещества. Колориметрические методы определения примеси железа.

## **«Непрерывная очистка воды бассейна нейтринного водного детектора с использованием установок обратного осмоса»**

Докл. к.х.н. Быков Виктор Васильевич заместитель главного технолога  
ООО «ЭКОДАР МВК».

В Москве на территории Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» располагается нейтринный водный детектор (далее НЕВОД), предназначенный для исследования всех основных компонентов космических лучей, включая мюоны и нейтрино. Регистрирующая система НЕВОДа, черенковский водный детектор (ЧВД), размещена в водном резервуаре с внутренними размерами  $9 \times 9 \times 26 \text{ м}^3$  и общим объемом воды  $2000 \text{ м}^3$ .

Для нормальной работы регистрирующей системы, вода в бассейне должна постоянно очищаться, чтобы поддерживать высокую прозрачность и постоянный состав.

Для обеспечения непрерывной циркуляционной очистки воды НЕВОДа и поддержания качества воды близкой к дистилляту (ГОСТ 6709-72), была установлена система водоподготовки, включающая две установки обратного осмоса: Zauberkraft 4W (производительностью  $3,5\text{--}4,5 \text{ м}^3/\text{ч.}$ ) и Zauberkraft 6M (производительностью  $0,7\text{--}1,3 \text{ м}^3/\text{ч.}$ ).

Первая УОО ZR-4W, производительностью  $3,5\text{--}4,5 \text{ м}^3/\text{ч.}$ , установлена на линии циркуляции и предназначена для деминерализации воды, поступающей из бассейна НЕВОДа (см. рис. 1. Общая гидравлическая схема и рис. 2). Вторая УОО ZR-6M (производительность  $0,7\text{--}1,3 \text{ м}^3/\text{ч.}$ ) предназначена для деминерализации воды, поступающей из городского водопровода и из линии концентрата первой УОО ZR-4W. УОО ZR-6M служит для компенсации потерь, которые возникают в результате сброса концентрата от УОО ZR-4W и испарения воды. Расчет параметров УОО ZR-6M и ZR-4W проводили с помощью программ расчета Hydronautics IMSdesign [3] и ROSA [4].



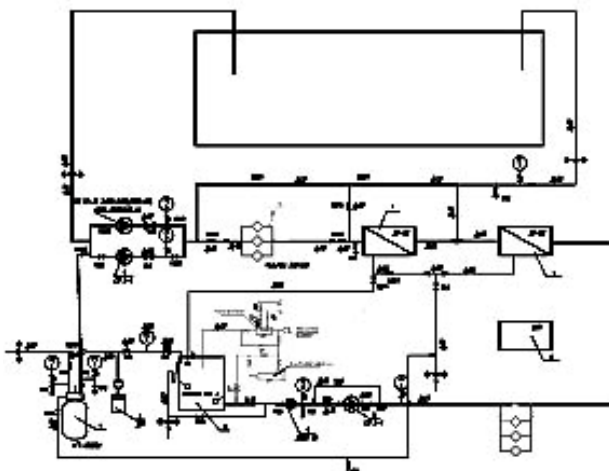


Рис. 1

Общая гидравлическая схема системы водоподготовки

Кроме двух УОО СВ также включает: сорбционный фильтр на линии подачи водопроводной воды, дополнительную накопительную емкость 800 л, насосные станции для подачи воды на УОО и дозирующие комплексы для подачи реагента АМИНАТ™ К.

СВ работает в автоматическом режиме, поддерживая уровень воды в бассейне НЕВОДа в диапазоне  $\pm 15$  мм с помощью датчиков уровня, которые включают и выключают УОО в соответствии с заданной программой. Предусмотрена возможность периодического («таймерного») включения-отключения УОО, путем установки часов работы на дисплее СУ. Система автоматического управления собрана на базе программируемых логических контроллеров «Овен» с возможностью передачи информации на верхний уровень АСУ ТП. Обе установки обратного осмоса первые 600 дней эксплуатации работали непрерывно (24 ч./сутки, 7 дней/неделю). В дальнейшем установки работали с остановками согласно программы с общей суточной продолжительностью работы 10-16 ч./сутки.



Рис. 2

Фото СВ. Общий вид

Результаты и их обсуждение

Зависимость УЭП в бассейне НВД от времени со дня ввода СВ в эксплуатацию показана на рис. 3.

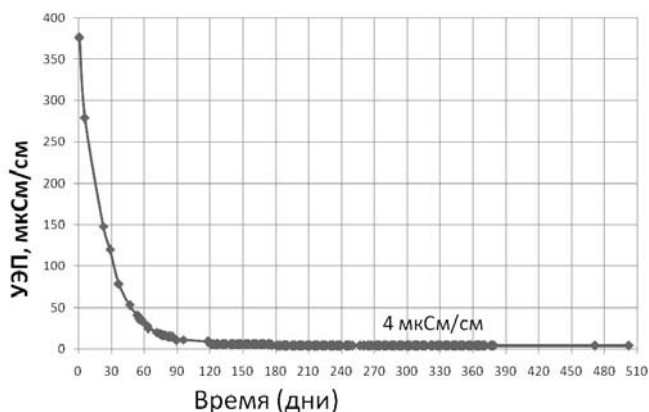


Рис. 3

Зависимость удельной электропроводности воды в бассейне НЕВОДа от времени со дня ввода в эксплуатацию. УЭП постоянно измерялась на линии циркуляции на входе в ZR-4W.

Через 121 день эксплуатации СВ УЭП в бассейне снизилась с 376 до 6 мкСм/см, а на 181 день вышла на постоянный уровень 4 мкСм/см (подробности, см. рис. 3).

УОО ZR-4W, установленная на линии циркуляции, в первый месяц работала при ДО (Recovery) 75%. Со временем по мере снижения удельной электропроводности в бассейне ДО постепенно повысили до 85-86% (см. рис. 4). Усредненную УП (Flux) в исследуемый период поддерживали на уровне 22-26 лмч (подробности см. рис. 4), при рецикле 3,75 м<sup>3</sup>/ч.

УЭП на выходе из УОО ZR-4W в первые 57 дней постепенно снизилась от 6 до 3 мкСм/см и в последующее время вышла на постоянный уровень 2,4-2,9 мкСм/см. УЭП и температура на входе в ZR-4W соответствовала значениям в бассейне НЕВОДа (см. рис. 3). Температура воды в бассейне менялась в зависимости от времени года в пределах 21- 26°С. В качестве ингибитора солеотложений перед ZR-4W постоянно дозировали реагент АМИНАТ™ К. В первые 3 месяца доза товарного АМИНАТ™ К составляла 9-11 мл/м<sup>3</sup>, следующие 3 месяца – 3-4 мл/м<sup>3</sup>, в последующие месяцы – 0,5-1 мл/м<sup>3</sup>. Уменьшение дозы АМИНАТ™ К обусловлено снижением общего солесодержания в воде бассейна во времени, и, как следствие, снижением расчетных индексов насыщения и стабильности. Например, индекс Ланжелье в концентрате снижался с 2,1 в первые дни работы до отрицательных значений спустя 3 месяца.

При таком выбранном режиме эксплуатации ZR-4W в течение наблюдаемых 900 дней работала без химических промывок, не показывая признаков ухудшения гидравлических характеристик или снижения селективности.

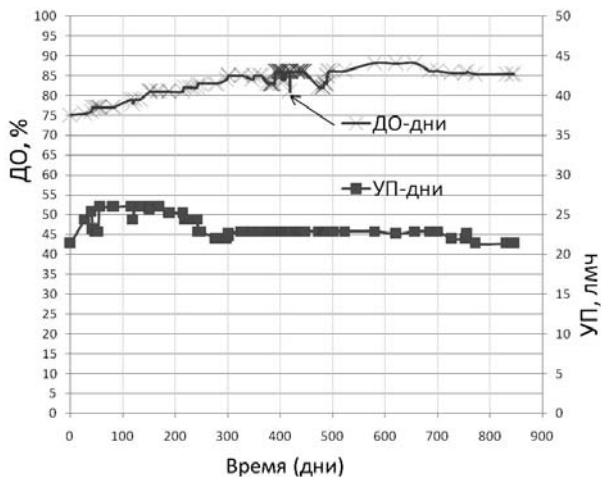


Рис. 4

Зависимость ДО (Recovery) и УП (Flux) ZR-4W от времени со дня ввода в эксплуатацию.

### Установка ZR-6M

Установка ZR-6M первые 42 дня работала на исходной воде из московского водопровода, прошедшей через фильтр с активированным углем. В последующие дни на смеси концентрата от ZR-4W и водопроводной воде. Состав и температура питательной воды менялись в зависимости от времени года, а также соотношения водопроводной воды и концентрата.

Контроль над работой УОО осуществляли по нормализованным параметрам: нормализованной усредненной удельной производительности (далее НУП, см. рис. 5), нормализованному коэффициенту очистки (далее НКО см. рис. 6), и нормализованному перепаду давления (далее НПД, см. рис. 7).

Расчет нормализованных параметров был выполнен с помощью расчетной программы RDate XL704 [2]. Для наглядности на рис. 6,7,8 наряду с перечисленными НУП, НКО и НПД отражены текущие значения УП, УЭП и ПД. ДО в исследуемый период поддерживали на уровне 57-65%, при рецикле  $1.1 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Доза АМИНАТ<sup>™</sup> К составляла 9-11  $\text{мл}/\text{м}^3$ .

Индекс Ланжелье в концентрате менялся в диапазоне от -0,1 до +0,9.

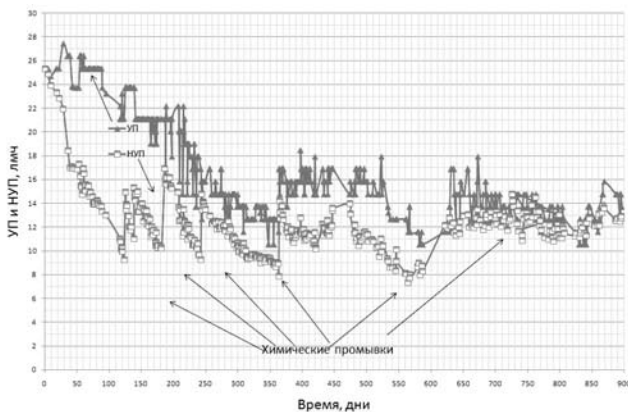


Рис. 5

Зависимости усредненной текущей удельной производительности и нормированной усредненной удельной производительности от времени УОО ZR-6М. В качестве фиксированных (стандартных) параметров были приняты значения, зарегистрированные через 14 часов после первого пуска УОО.

Как видно из рис. 5, примерно через 90 дней нормализованная удельная производительность (НУП) снижается практически вдвое, что свидетельствует о постепенном загрязнении мембран. Обращает на себя внимание, что при значениях текущей УП более  $24 \text{ л/м}^2\text{ч}$  вне зависимости от состава и температуры воды происходит значительное снижение нормализованной НУП. Причем чем больше УП, тем с большей скоростью происходит загрязнение мембран, о чем свидетельствует угол наклона зависимости НУП от времени. Сравнительно низкая степень загрязнения наблюдается при значениях УП менее  $15 \text{ л/м}^2\text{ч}$ . Через 120 дней эксплуатации провели первую химическую промывку, которая включала щелочную и кислотную промывки. Первая щелочная промывка заключалась в циркуляции щелочного раствора над поверхностью мембран в течение 40 мин. при температуре  $20\text{--}25^\circ\text{C}$ . Щелочной раствор №1 имел следующий состав: тринатрийфосфат, ч.д.а. (2% масс. по товарному), трилон Б (1%

масс. по товарному). Раствор №2 для первой кислотной промывки готовился из лимонной кислоты, концентрация раствора составляла 2% масс. по товарному продукту. Химическая промывка не привела к полному восстановлению мембран (см. рис. 6). В последующие промывки менялись реагенты и параметры промывки. Была увеличена температура (до 30 °С) и продолжительность (до 3-4 ч) щелочной промывки. В качестве реагентов для промывки были опробованы рекомендуемые производителем мембран растворы гидроокиси натрия, Трилона Б без щелочи, тринатрийфосфата без трилона Б, гидроокиси натрия и додецилсульфата натрия, соляную кислоту, также меняли направления циркуляции. Значительного улучшения качества отмытки по сравнению с первоначальной промывкой эти варианты не принесли. Было отмечено, что реально помогает только щелочная промывка.

Следует отметить, что полное восстановление мембран не являлось необходимым, поскольку при нормальной работе количество концентрата от ZR-4W составляло около 0,75 м<sup>3</sup>/ч., что компенсировались получением пермеата УОО ZR-6М при работе с УП 15-16 л/м<sup>2</sup>ч., при давлении 8-11 бара. Периодичность промывок при УП 15-16 л/м<sup>2</sup>ч. и практически непрерывном режиме работы (24 ч./сутки) составляла около 3 месяцев. При перепрограммировании СВ на периодическую схему работу (10-16 ч./сутки) и установкой дополнительных барьерных фильтров (0,5-1,0 мкм) перед ZR-6М, период времени между промывками увеличивался (см. рис. 5-7, периоды через 600 дней после начала работы).

Анализ графиков на рис. 6 показывает, что средняя УЭП пермеата от ZR-6М в течение исследуемого периода находилась в пределах 5-8 мкс/см. Наблюдаемые отклонения (иногда значительные) главным образом были вызваны переменным составом и колебанием температуры питательной воды вследствие неравномерности смешения водопроводной воды и концентрата от ZR-4W. На изменения УЭП также накладывало свое влияние изменения состава и температуры водопроводной воды в течение года вследствие сезонности. Принимая во внимание объем бассейна (2000 м<sup>3</sup>), колебания УЭП пермеата от УОО ZR-6М не оказывали заметного влияния на УЭП воды в бассейне.

Значения НКО практически не менялись в течение наблюдаемого периода (см. рис. 6). Проведение химических

промывок также практически не оказывало влияния на НКО, соответственно и селективность.

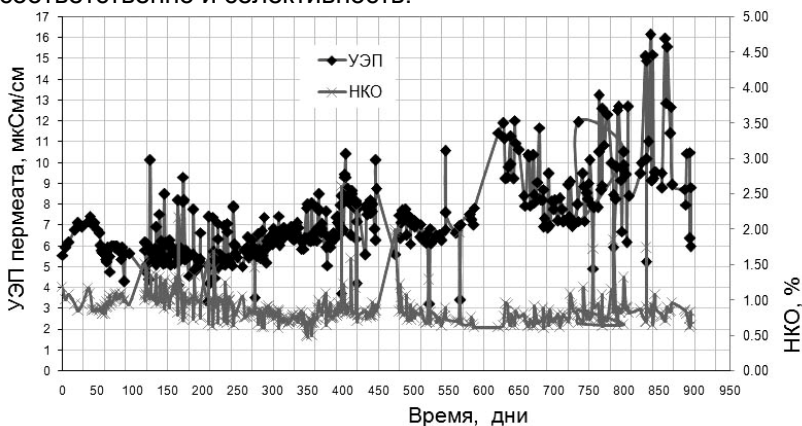


Рис. 6

Зависимости текущей удельной электропроводности (УЭП) и нормализованного коэффициента очистки (НКО, Salt Passage Norm.,%) УОО ZR-6М от времени.

Величина НПД (см. рис. 7) в первые 270 дней практически не изменялась и находилась в пределах 0,4-0,8 бара, далее со временем наблюдалось увеличение НПД до 1,5 бар, которое удалось снизить химической промывкой до 1,2 бар.

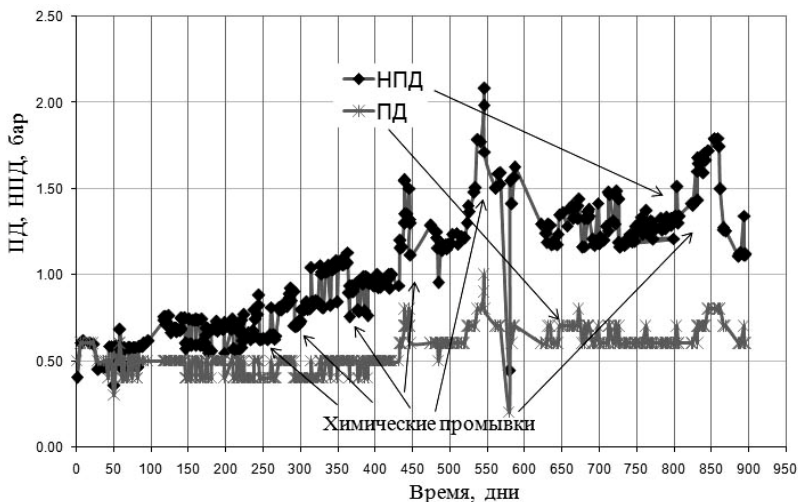


Рис. 7

Зависимости текущего перепада давления (ПД) и нормализованного перепада давления (НПД) в барах на блоке МЭ УОО ZR-6М от времени.

Проанализировав полученные данные по изменению эксплуатационных параметров ZR-6М с течением времени (графики 5-7), можно сделать следующее обобщение: НУП – уменьшается, НКО – не изменяется (или незначительно снижается), НПД – постепенно возрастает. Полученный результат свидетельствует в пользу того, что основной причиной ухудшения рабочих характеристик УОО является загрязнение мембран органическими соединениями природного характера [5,6].

Таким образом, предложена СВ, включающая две УОО, для получения и непрерывного поддержания в течение длительного времени постоянного объема (~2000 м<sup>3</sup>) воды с качеством близким к дистилляту. Отработаны оптимальные режимы работы УОО, обеспечивающие требуемое качество и постоянный уровень ( $\pm 15$  мм) воды в бассейне НЕВОДа.

В результате модернизации системы водоподготовки качество воды в рабочем объеме черенковского водного детектора НЕВОД было доведено до уровня дистиллята с электропроводностью 4 мкС/см, это позволило увеличить светосбор черенковского излучения от треков одиночных мюонов более чем в два раза, что, в свою очередь, дало возможность увеличить порог регистрации фотоэлектронных умножителей (ФЭУ) в квази-сферических модулях (КСМ), примерно, в 10 раз, без потери эффективности регистрации одиночных мюонов.

### Сокращения, термины и определения

ДО – доля отбора (Recovery)= $P \cdot 100 / (K + P)$  – отношение расхода пермеата к суммарному расходу пермеата и концентрата в %.

КО=(Сп/Сисх)100% – коэффициент очистки (Salt Passage), % – отношение содержания солей в пермеате к содержанию солей в растворе над мембраной.

МЭ – мембранный элемент

НЕВОД – первый в мире нейтринный водный детектор на поверхности Земли, предназначенный для исследования всех основных компонентов космических лучей (в первую очередь мюонов и нейтрино). Распологается в Москве на территории Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ».

НКО – нормализованный коэффициент очистки (Salt Passage Norm.), %.

НПД – нормализованный перепад давления на блоке мембранных модулей (исходная вода- концентрат).



НУП (Flux), (лмч) – нормализованная удельная производительность УОО или мембраны, л/(м<sup>2</sup>)\*ч.

ПД – текущий, наблюдаемый перепад давления на блоке мембранных модулей (исходная вода- концентрат).

СВ – система водоподготовки.

СУ – система управления на базе контроллеров «ОВЕН».

Трилон Б – динатриевая соль этилендиаминтетрауксусной кислоты.

УОО – установка(и) обратного осмоса.

УП (Flux), (лмч) – удельная производительность УОО или мембраны, л/(м<sup>2</sup>)\*ч.

УЭП – удельная электропроводность воды, мкСм/см.

ZR-4W – установка обратного осмоса, модель Zauberos-4W (4 МЭ Filmtec BW30HR-440, площадь мембран 41х4=164 м<sup>2</sup>, секционирование 1-1-1-1, селективность МЭ – 99,4-99,7%).

ZR-6M – установка обратного осмоса, модель Zauberos-6M (6 МЭ Hydranautics ESPA2 4040, площадь мембран 7,9х6=47,4 м<sup>2</sup>, секционирование 2-2-2, селективность МЭ – 99,4-99,6%).

$\phi = (1 - \text{Сп}/\text{Сисх})100 \%$  – селективность (salt rejection), где Сп и Сисх – общая концентрация веществ в пермеате и растворе над мембраной.

Нормализация [1], [2] – пересчет текущих фактических рабочих характеристик в нормализованные, т.е. рассчитанные для одинаковых фиксированных параметров процесса, что позволяет объективно оценить изменения, происходящие в результате загрязнения или разрушения МЭ. В качестве фиксированных (стандартных) параметров принимались значения, зарегистрированные после первого пуска УОО при пусконаладочных работах.

#### Список литературы

1. Byrne W. Reverse Osmosis. A Practical Guide for Industrial Users. 2nd edition. 2002. Tall Oaks Publishing Inc. U.S.A. p. 346-364.
  2. Hydranautics ROdata download. <http://www.membranes.com>
  3. Hydranautics IMSdesign download. <http://www.membranes.com>
  4. ROSA[http://www.dowwaterandprocess.com/en/resources/rosa\\_previous\\_vesion\\_archive](http://www.dowwaterandprocess.com/en/resources/rosa_previous_vesion_archive)
  5. Hydranautics TSB107.22 download. <http://www.membranes.com>
  6. Filmtec Reverse Osmosis Membranes. Technical Manual. P. 154.
-

**«Изучение эффективности новых типов ингибиторов для  
предотвращения образования карбонатных осадков в установках  
обратного осмоса и определение  
их технологических характеристик»**

Докл. д.т.н. Первов Алексей Германович профессор кафедры  
водоснабжения, соавторы к.т.н. Андрианов Алексей Петрович доцент  
кафедры водоснабжения, к.т.н. Ефремов Роман Владимирович  
старший преподаватель, доцент ФГБОУ ВПО «МГСУ»; Рудакова Галина  
Яковлевна ведущий научный сотрудник лаборатории воды и  
теплоносителя ПАО НЦ «Малотоннажная химия».

Современная экологическая ситуация заставляет искать новые технологические решения, препятствующие загрязнению поверхностных водоемов биогенными элементами.

Большое количество фосфора поступает в водоемы с концентратами обратноосмотических установок, содержащими ингибиторы, представляющие собой соли фосфоновых кислот. Ингибиторы «нового» поколения не должны содержать фосфора, при этом эффективность их в предотвращении образования на мембранах солевых отложений должна быть достаточно высокой, чтобы обеспечивать высокую величину выхода фильтрата и сокращение сбрасываемых объемов концентрата обратноосмотических установок.

В докладе представлены результаты экспериментальных работ по определению скоростей роста карбоната кальция в каналах рулонных обратноосмотических аппаратов в присутствии ингибиторов различных составов в зависимости от жесткости исходной воды, а также величин выхода фильтрата и дозы ингибитора. Представлено описание экспериментальной методики, позволяющей определять скорости роста осадка карбоната кальция в каналах мембранных аппаратов на основе массового баланса ионов кальция в циркулирующем объеме исходной воды.

Обработка экспериментально полученных результатов позволила выявить зависимости эффективности ингибиторов в снижении скоростей осадкообразования от их химического состава и рекомендовать наиболее эффективный тип ингибитора для практического применения в эксплуатации мембранных систем водоподготовки. Представлены методики составления прогноза снижения производительности мембран в процессе их работы и определения продолжительности фильтроцикла перед проведением химических промывок.

**Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в соответствии с ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы. (Соглашение о предоставлении субсидии от 01 декабря 2014 года № 14.582.21.0007).**

**«Технология динамического осветления «ДИКЛАР» для очистки природных и сточных вод – альтернатива импортным технологиям. Опыт внедрения и перспектива»** – докл. Балаев Игорь Семенович технический директор, соавторы Кучма Геннадий Геннадьевич административный директор, Кеменов Юрий Викторович коммерческий директор, ООО ИЦ «Объединенные Водные Технологии».

В настоящее время, в условиях политических и экономических санкций ЕС и США по отношению к РФ, импортозамещение становится решающим фактором, тем более что на это имеются необходимые предпосылки.

Целью данной статьи является обобщение опыта внедрения отечественной импортозамещающей технологии динамического осветления воды (dynamic clarification) под торговой маркой ДИКЛАР (DYCLAR) на базе динамических осветлителей и динамических осветлительных фильтров.

Основным источником для промышленного и питьевого водоснабжения в большинстве регионов России являются поверхностные воды, на долю которых приходится до 80% от общего объема водозабора.

Традиционная технология предочистки для энергетических предприятий включает коагуляцию в осветлителях со взвешенным шламовым слоем (типа ВТИ или ЦНИИ) с последующим фильтрованием в напорных фильтрах (типа ФОВ) с зернистой загрузкой (в основном гидроантрацит).

Данная технология очистки воды имеет множество широко известных недостатков, которые являются «головной болью» для эксплуатационного персонала водоподготовительных установок (ВПУ). Как следствие, не всегда обеспечивается степень очистки поверхностных вод до нормируемых показателей, но особенно проблематична степень очистки в сезон паводка или в период цветения водоемов.

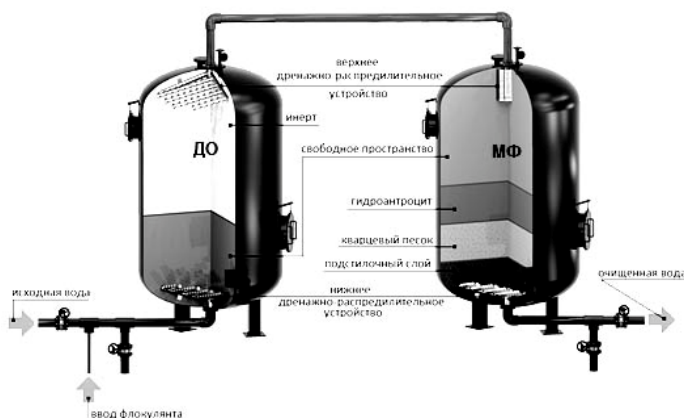
В последние 10-15 лет при реконструкции или строительстве установок ВПУ в основном использовались импортные технологии и оборудование (ультрафильтрация, самопромывные зернистые фильтры Dynasand, осветлители с микропеском Aktiflo и др.) со значительными капитальными затратами и эксплуатационными издержками.

При этом в литературе и по данным специалистов, эксплуатирующих данные импортные технологии, появилось достаточно отрицательных отзывов по их надежности (низкий срок службы мембранных и фильтрующих элементов),

экономичности (высокий процент сточных/промывочных вод, высокий расход химических реагентов), а также по степени очистки воды.

В 2009 г. специалистами компании «Объединенные водные технологии» (далее ОВТ) была разработана технология очистки воды ДИКЛАР на динамических осветлителях (ДО) и на механических фильтрах с двухслойной загрузкой (МФ). Принцип работы данной технологии представлен на рис 1.

Рис.1  
Принцип работы ДО-МФ.



Принципиально динамический осветлитель основан на технологии контактной коагуляции, но в отличие от широко известного безнапорного контактного осветлителя КО-3, загруженного тяжелой загрузкой (гравий, кварцевый песок), применяется напорный фильтр с плавающей загрузкой (ФПЗ). Традиционно в ФПЗ в качестве фильтрующего материала используется загрузка из гранулированного вспененного пенополистирола, обладающая низкой механической прочностью, а так же в ФПЗ применяются устаревшие дренажно-распределительные устройства.

С целью повышения степени очистки помимо коагуляции применяется флокуляция, повышающая эффект прилипания хлопьев к контактной загрузке.

Особенностью ДО также являются усовершенствованные верхние и нижние дренажно-распределительные устройства в напорном фильтре, а также

гранулированная плавающая инертная фильтрующая загрузка под торговой маркой ИНЕРТ/INERT (грансостав 3-5 мм, плотность гранул 0,8-0,9 г/см<sup>3</sup>) на основе полимерных материалов (полиэтилен, полипропилен и др.), обладающая высокой механической прочностью и соответственно длительным сроком службы (20 лет).

Предварительно в исходную воду последовательно дозируется коагулянт и флокулянт для образования хлопьев загрязняющих веществ. Фильтрация воды производится последовательно восходящим потоком в ДО, загруженным плавающим инертным материалом марки INERT. Частично-осветленная вода после ДО подается для доосветления воды на МФ, который загружается снизу вверх послойно гравием, кварцевым песком и гидроантрацитом.

Периодическая взрыхляющая промывка инертного материала в ДО проводится предварительно сжатым воздухом, а затем водой в противоположном направлении.

В период 2010-2013 г.г. были проведены пилотные испытания опытной установки при использовании сульфата алюминия в качестве коагулянта (доза 0,7-1,0 мг-экв/дм<sup>3</sup>) и Праестол 650 ВС в качестве флокулянта (доза 0,3-0,8 мг/дм<sup>3</sup>). Результаты пилотных испытаний приведены в таблице 1.

**Таблица 1**

Показатель	Единица измерения	Калининская АЭС (водохранилище), 2010 г.		ОАО «Акрон» (р. Волхов), 2012 г.		ТЭЦ-26 Мосэнерго (р. Москва), 2013 г.	
		Исходная вода	Осветленная вода	Исходная вода	Осветленная вода	Исходная вода	Осветленная вода
Взвешенные вещества	мг/дм <sup>3</sup>	1,5-5,0	менее 1,0	10-22	менее 1,0	2,8-14	0,1-0,5
Содержание окислов железа	мг/дм <sup>3</sup>	1,0-1,2	0,2-0,25	1,1-1,5	менее 0,1	0,48-0,87	0,026-0,12
Перманганатная окисляемость	мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	12-15	4-5	20-22	4,1-5,4	5,4-7,3	2,2-3,1
Цветность	градус	-	-	160-220	8-15	-	-
Коллоидный индекс	SDI	-	-	-	менее 3	-	-

По данным таблицы 1 видно, что после ДО и МФ обеспечивается высокое качество осветленной воды особенно по таким показателям как взвешенные вещества, окислы железа, окисляемость, цветность, что в свою очередь позволяет

использовать осветленную воду даже в качестве питьевой воды при дополнительной стадии обеззараживания (гипохлорит натрия, ультрафиолет и др.).

В декабре 2012 г. на Новокузнецком алюминиевом заводе (входит в состав компании РУСАЛ) была введена в промышленную эксплуатацию система очистки промышленно-ливневых сточных вод проектной производительностью 264 м<sup>3</sup>/ч., которая позволила полностью исключить сброс сточных вод завода, а также в три раза снизить потребность предприятия в использовании воды из реки Томь.

Очищенные воды используются в оборотной системе предприятия для охлаждения основного технологического оборудования.

Система очистных сооружений предусматривает следующие последовательные стадии обработки воды:

- коагуляция сульфатом алюминия за счет подачи рабочего 6%-ного раствора в трубопровод исходной воды;
- хлопьеобразование в напорной контактной емкости (НКЕ) с временем пребывания обрабатываемой воды 5-10 мин.;
- дозирование раствора флокулянта (Праестол 650 ВС) в трубопровод после НКЕ;
- фильтрация коагулированной воды восходящим потоком через динамический осветлитель (ДО), загруженный плавающим инертным материалом марки «INERT» с гранулометрическим составом 3-5 мм;
- финишная доочистка осветленной воды через механический фильтр с двухслойной зернистой загрузкой (нижний слой – мелкозернистый кварцевый песок, верхний слой – крупнозернистый гидроантрацит);
- обеззараживание осветленной воды за счет дозирования раствора гипохлорита натрия.

В качестве НКЕ были использованы два корпуса фильтров диаметром 2000 мм с дренажно-распределительными устройствами типа «стакан в стакане».

В качестве ДО и МФ использовались корпуса фильтров диаметром 2600 мм (4 ДО и 4 МФ) с внутренними дренажно-распределительными устройствами, разработанными ОБТ.

Все корпуса НКЕ, ДО и МФ рассчитаны на рабочее давление 6 кгс/см<sup>2</sup>.

Дополнительно каждый ДО и МФ были оборудованы смотровыми окнами для контроля над состоянием фильтрующих материалов и за процессом взрыхляющей промывки.

В период проведения пуско-наладочных работ были достигнуты результаты, которые приведены в таблице 2.

**Таблица 2**

№ п.п.	Наименование показателей	Единица Измерения	Исходная вода	После ДО	После МФ
1	Взвешенные вещества	мг/дм <sup>3</sup>	2,2-62,5	0,4-1,0	0,3-1,0
2	Мутность	мг/дм <sup>3</sup>	2,5-48,5	0,03-0,15	0,03 - 0,13
3	Содержание окислов железа	мг/дм <sup>3</sup>	0,45-2,8	0,03-0,1	0,02-0,1
4	Перманганатная окисляемость	мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	3,5-8,3	1,8-3,0	1,8-3,0
5	Нефтепродукты	мг/дм <sup>3</sup>	0,3-0,4	0,07-0,09	0,07-0,09
6	pH	-	7,7-8,6	7,0-7,6	7,0-7,6

Во время пуско-наладочных работ (декабрь 2012 – апрель 2013) производительность каждого ДО и МФ в основном составляла 15-106 м<sup>3</sup>/ч., что соответствует 3-20 м/ч. скорости фильтрования (диаметр каждого ДО и МФ составляет 2,6 м).

Температура промливневых сточных вод составляла 10-25°С.

Отключение ДО на взрыхляющую промывку производилось при перепаде давления свыше 1,5 кгс/см<sup>2</sup>, а отключение МФ на взрыхляющую промывку производилось при перепаде давления свыше 0,7 кгс/см<sup>2</sup>.

Взрыхляющая промывка ДО и МФ производилась традиционно, а именно, сначала воздухом предварительно поддренировав воду в ДО, а затем для МФ восходящим потоком воды, а для ДО нисходящим потоком воды. Количество промывной воды составляло порядка 3 % от объема обработанной воды.



Доза коагулянта (сульфат алюминия) в среднем составляла  $0,5-0,8 \text{ мг-экв/дм}^3$ , а доза флокулянта (Праестол) составляла  $0,5-1,0 \text{ мг/дм}^3$ .

С целью унификации и последующего внедрения динамических осветлителей ОВТ разработала конструкторскую документацию для диаметров от 1,0 до 3,4 м и номинальной производительностью от 15 до  $180 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Для последующего продвижения технологии динамического осветления ДИКЛАР (DYCLAR) в 2012 г. ОВТ разработала и запатентовала устройство «Динамический осветлительный фильтр» (ДОФ), представляющее собой двухкамерный аппарат, состоящий из верхней камеры динамического осветления и нижней камеры тонкой очистки (рис. 2).

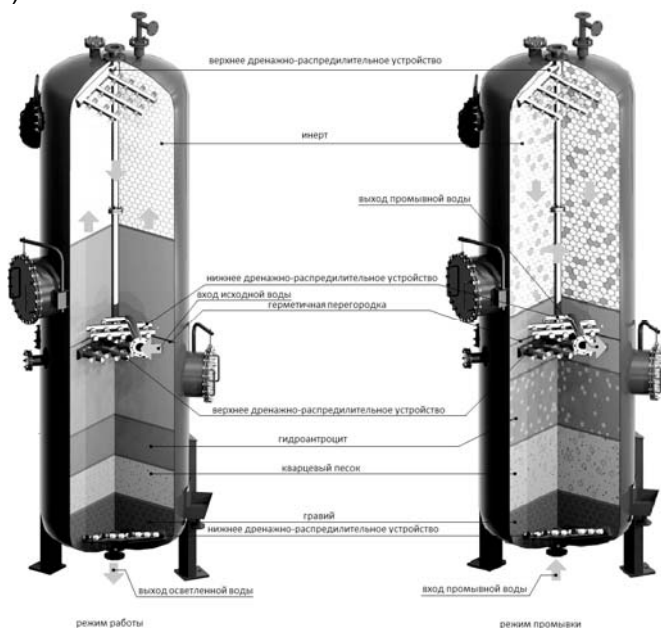


Рис. 2  
Принцип работы ДОФ

Принцип работы ДОФ заключается в том, что фильтрация воды производится последовательно восходящим потоком через камеру динамического осветления, загруженной плавающим инертным материалом марки INERT (гранулометрический состав 3-5 мм) и далее нисходящим

потоком через камеру тонкой очистки, загруженной крупнозернистым (1,2-2,5 мм) гидроантрацитом (верхний слой) и мелкозернистым (0,6-1,2 мм) кварцевым песком (нижний слой).

Периодическая взрыхляющая промывка проводится предварительно воздухом инерта в камере динамического осветления, а затем водой в противоположном направлении. Сначала промывная вода подается снизу вверх в камеру тонкой очистки, промывая последовательно слой кварцевого песка и слой гидроантрацита. Далее промывная вода через центральную трубу попадает в камеру динамического осветления и сверху вниз промывает слой плавающего инертного материала.

Использование ДОФ при новом строительстве позволит обеспечить высокое качество осветленной воды при меньших габаритах, так как в одном аппарате совмещены стадии осветления и последующей финишной (тонкой) фильтрации через двухслойную зернистую загрузку (гидроантрацит, кварцевый песок).

Так же разработана конструкторская документация ДОФ для диаметров от 1,0 до 3,4 м и номинальной производительностью от 15 до 180 м<sup>3</sup>/ч.

В настоящее время с 2013 г. эксплуатируется установка очистки речной воды для подпитки водооборотных циклов с использованием ДОФ диаметром 1,5 метра и проектной производительности 75 м<sup>3</sup>/ч. на Нефтехимическом заводе, г. Павлодар, Республика Казахстан.

Производительность каждого ДОФ диаметром 1,5 м составляет 5-40 м<sup>3</sup>/ч., что соответствует скорости фильтрования в диапазоне 3-22, 6 м/ч. При этом очистка воды р. Иртыш производится без ее подогрева. Температура исходной воды составляет 10-30°С в зависимости от сезона года.

Эксплуатация ВПУ с использованием ДОФ на «Нефтехим LTD» предусмотрена в автоматическом режиме АСУТП.

Отдельно необходимо отметить об использовании полиоксихлорида алюминия (ПОХА) вместо сульфата алюминия (СА) в качестве коагулянта. На Новокузнецком алюминиевом заводе с февраля 2014 г. вместо СА стали использовать ПОХА, что позволило:

– снизить суточный расход товарного коагулянта с 200-350 кг/сут до 25-35 кг/сут. (доза ПОХА 3-5 мг/дм<sup>3</sup> по  $Al_2O_3$ );

- увеличился фильтроцикл ДО на 20-25%;
- объем промывочных шламовых вод (после отстаивания) сократился в 1,5 раза.

В марте-июне 2015 г. были проведены пилотные испытания динамических осветлителей на Барнаульской ТЭЦ-3 по очистке речной и оборотной воды (температура 15-25°C) с использованием в качестве ПОХА Аква-аурат-30, результаты которых представлены в таблице 3.

**Таблица 3**

Показатель	Единица измерения	Барнаульская ТЭЦ-3 р. Обь и цирквода, 2015 г.	
		Исходная вода	Осветленная вода
Взвешенные вещества	мг/дм <sup>3</sup>	7-295	0,4-1,8
Содержание окислов железа	мг/дм <sup>3</sup>	0,21-7,6	0,037-0,12
Перманганатная окисляемость	мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	1,04-10,9	0,56-2,1
Цветность	градус	40-807	0-9,0
Нефтепродукты	мг/дм <sup>3</sup>	0,1-1,53	0,02-0,09
Кремнекислота	мг/дм <sup>3</sup>	8,5-13,4	5,6-7,6

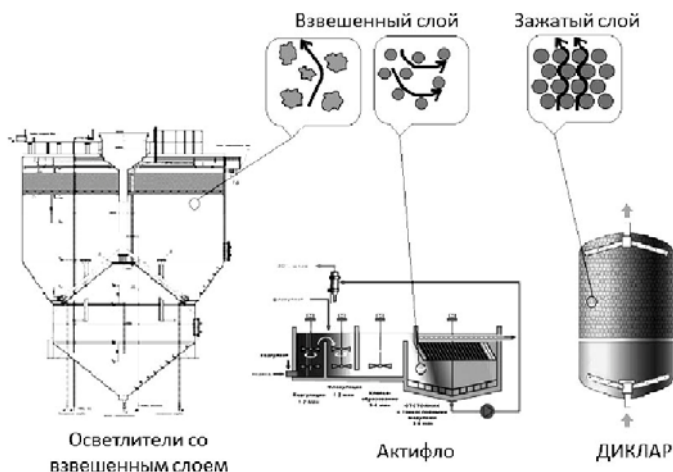
На основании таблицы 3 можно однозначно резюмировать, что использование ПОХА намного повышает степень очистки и гарантирует стабильно высокое качество осветленной воды даже при цветности до 800 град и содержании окислов железа до 7,6 мг/дм<sup>3</sup> в исходной воде.

Один из интересных результатов является снижение кремнекислоты в осветленной воде на 35-45% от исходной, что позволяет гарантировать требования СанПиН «Питьевая вода» по активированной кремнекислоте менее 10 мг/дм<sup>3</sup>.

Объяснить высокую степень очистки воды по технологии ДИКЛАР в отличие от осветлителей со взвешенным слоем или от осветлителей Actiflo с микропеском, можно тем, что при очистке воды происходит налипание коагулированных загрязнений за счет флокуляции к крупнозернистой полимерной загрузке INERT, находящийся в зажатом слое и общей высотой порядка 2 м (то есть наблюдается эффект зажатого слоя по аналогии с ионообменной технологией), см. рис. 3.

Рис 3.

Преимущество зажатого слоя ДИКЛАР по сравнению со взвешенным слоем.



Важной особенностью технологии ДИКЛАР является то, что она позволяет не только идеально очищать исходную воду (на уровне ультрафильтрации), но и обеспечить 100%-ую периодическую (1-2 раза в сутки) очистку плавающей инертной загрузки за счет предварительной ее продувки сжатым воздухом (эффект трения зерен и очистка от налипших к ним загрязнений в слое воды) и последующей водной промывки тяжелых загрязнений нисходящим потоком.

Данная технология очистки обеспечивает низкий процент сточных промывных вод (менее 3%) в отличие от традиционных фильтров (контактных осветлителей) с тяжелой зернистой загрузкой (кварцевый песок, гидроантрацит) или в сравнении с ультрафильтрацией, на которых процент сточных вод составляет 10-25% от производительности установки.

С учетом вышеуказанного хотелось бы отметить, что представленная импортозамещающая отечественная технология динамического осветления воды ДИКЛАР (либо ДО-МФ, либо ДОФ) намного совершеннее и экономичнее известных импортных и отечественных технологий очистки природных и сточных вод, что подтверждается результатами ее внедрения, а именно:

– при использовании напорной коагуляции и флокуляции основная очистка исходной воды происходит на динамическом осветлителе, а механический фильтр выполняет финишную (защитную) очистку для гарантированного высокого качества осветленной воды;

– номинальная скорость фильтрования в динамических осветлителях варьируется в широком диапазоне (3-18 м/ч.) и допускает максимальные значения до 22-23,5 м/ч., что практически в десять раз выше по сравнению со скоростью восходящего потока в осветлителях со взвешенным слоем и в 4-5 раз выше по сравнению с контактными осветлителями;

– количество промывных сточных вод составляет 2-3% от производительности установок, что в 3-8 раз меньше в сравнении с известными технологиями очистки воды (осветлители, самопромывные фильтры, ультрафильтрация);

– используются отечественное оборудование (корпуса фильтров с внутренними устройствами) и фильтрующие материалы (инерт, гидроантрацит, кварцевый песок), срок службы которых соответственно составляет 30-40 лет и 10-20 лет, а их стоимость значительно ниже в сравнении с импортной поставкой, что соответственно обеспечивает низкие капитальные и эксплуатационные затраты;

– при очистке исходной воды с высоким содержанием загрязнений (взвешенные вещества до 300 мг/дм<sup>3</sup>, окислы железа до 7,6 мг/дм<sup>3</sup>, а окисляемость до 22 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> и цветность до 800 град) всегда гарантируется высокое качество очищенной воды (содержание окислов железа и алюминия менее 0,1 мг/дм<sup>3</sup>, взвешенных веществ менее 1 мг/дм<sup>3</sup> и снижение окисляемости на 60-80%);

– упрощенная автоматизация дозирования реагентов (коагулянт, флокулянт) в трубопровод общего потока по сигналу расхода исходной воды;

– в отличие от зарубежных интенсифицированных технологий (ультрафильтрация, осветлители Actiflo, фильтры Dynasand) для технологии ДИКЛАР отсутствуют жесткие требования к надежности работы всего вспомогательного оборудования. Так, при прекращении подачи коагулянта или флокулянта в течение 1-2 часа не приводит к ухудшению качеству очищенной воды.

Таким образом, высокая эффективность технологии динамического осветления ДИКЛАР позволяет отнести данную

технологии к типу Наилучших Доступных Технологий (НТД) для очистки природных и сточных вод по таким критериям, как:

- капитальные и эксплуатационные затраты;
- высокое качество очищенной воды, которое не зависит от резкого изменения производительности и состава обрабатываемой воды;
- экологические показатели (низкий расход химреагентов и минимальное количество сточных вод).

## **«Повышение эффективности коагуляции в процессе очистки речной воды»**

Докл. Хасанова Диляра Ильгизовна начальник лаборатории антикоррозионных процессов, соавторы Кирилова Марина Александровна инженер-технолог 2-ой категории лаборатории антикоррозионных процессов, Коврижных Елена Александровна инженер-технолог 3-й категории лаборатории антикоррозионных процессов НТЦ ПАО «Нижнекамскнефтехим».

Динамичное развитие химической, нефте- и газодобывающей промышленности России повышает риск загрязнения природной воды (рек, озер, водохранилищ) антропогенными и техногенными веществами [1,2]. Так в последние годы наблюдается аномально высокая цветность воды реки Кама даже в холодное время года (рис. 1), что ухудшает эффективность очистки технической и питьевой воды коагулянтами.

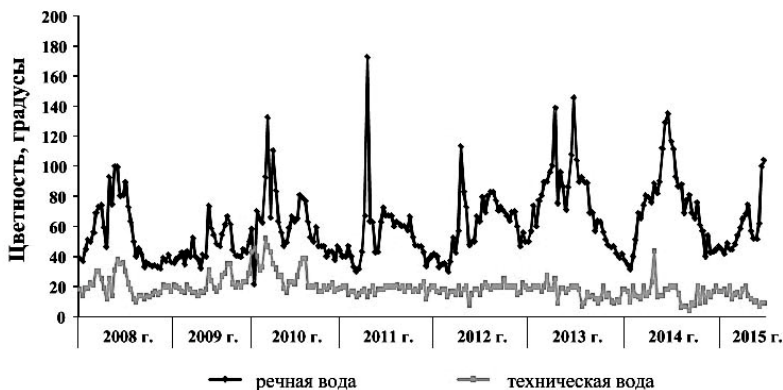


Рис. 1 – Изменение цветности воды реки Кама в период с 2008 г. по июнь 2015 г.

Высокое содержание железо-органических комплексов в технической воде, поступающей на установки химобессоливания, увеличивают нагрузку на ионообменные смолы, что приводит к необходимости сокращения фильтроциклов, увеличению расхода регенерирующих растворов и частой заменой дорогого анионитного материала. Накопление вышеуказанных специфических загрязнений в слое ионита приводит к непредсказуемому выносу железа и органических соединений с питательной водой в пароконденсатный тракт котлов-утилизаторов, что ведет к

аварийному разрушению котлов и образованию солевых отложений на лопатках паровых турбин.

В качестве неорганического коагулянта для подготовки питьевой и технической воды на ПАО «Нижнекамскнефтехим» применяется гидроксохлорид алюминия (ГОХА) с содержанием основного вещества 8% с общей формулой  $Aln(OH)_3n - xClx$ . ГОХА, который в последние годы получил широкое распространение как коагулянт, обладающий высокой эффективностью при очистке поверхностных вод. Источником воды для ПАО «Нижнекамскнефтехим» является вода реки Кама, вода которой характеризуется высокой цветностью и низкой мутностью, что значительно усложняет процесс очистки. Практика показала, что при высоких значениях цветности в зимние месяцы даже повышенные дозы ГОХА не позволяют достичь нормируемых значений по цветности.

По мере понижения температуры значительно повышается вязкость дисперсной среды, уменьшается степень гидролиза коагулянта. С увеличением вязкости снижается интенсивность броуновского движения и в итоге скорость коагуляции. Из-за малой кинетической энергии образуются слабые рыхлые хлопья. В этом случае для улучшения качества коагуляционной очистки воды применяются повышенные дозы коагулянта. При увеличении дозировки ГОХА-8 наблюдается повышение содержания алюминия в фильтрованной воде более 0,5 мг/л и содержание железа выше нормы «не более 0,15 мг/л». Повышенные значения концентрации железа и алюминия в коагулированной воде, в том числе и их комплексов с органическими веществами, приводят к отравлению слабоосновных анионитов на установках химводоподготовки. Усовершенствования технологии подготовки технической (фильтрованной) воды с применением флокулянтов так же не всегда способны устранить проблему [3].

Очистка камской речной воды для использования в технологических процессах ПАО «Нижнекамскнефтехим» в настоящее время осуществляется по схеме: хлорирование, коагуляция-флокуляция, осветление и фильтрование через кварцевый песок.



Для повышения эффективности очистки воды методом коагуляции искусственно увеличили мутность очищаемой воды путем рециркуляции шламового осадка, заключающаяся в возврате части отработанного осадка из камеры хлопьеобразования в распределительный канал горизонтального отстойника № 3 в зону подачи исходной воды после смесителя. В данном случае шламовый осадок является центром хлопьеобразования, что увеличивает размер хлопьев и скорость хлопьеобразования. Схема возврата шламовой воды из камеры хлопьеобразования в распределительный канал горизонтального отстойника № 3 представлена на рис. 2.

Рис. 2

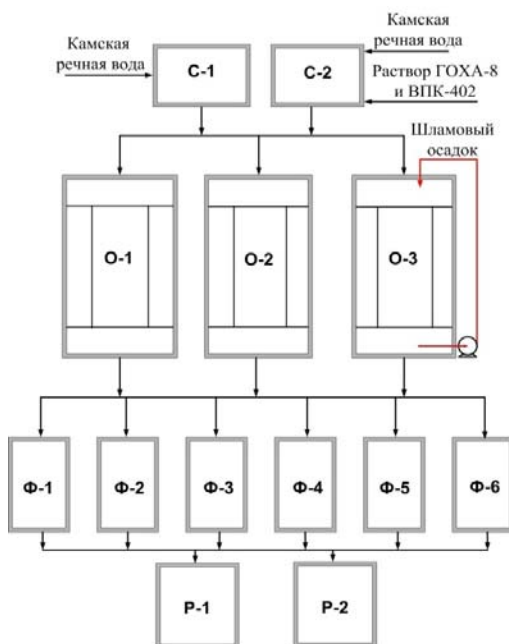


Рис. 2 – Принципиальная схема подготовки фильтрованной воды с возвратом шламового осадка из камеры хлопьеобразования в распределительный канал отстойника №3  
 С-1, С-2 – смесители №№1, 2;  
 О-1, О-2, О-3 – горизонтальные отстойники №№1, 2, 3;  
 Ф-1 – Ф-6 – песчаные фильтры №№1- 6;  
 Р-1, Р-2 – резервуары-сборники фильтрованной воды

В процессе опытно-промышленных испытаний рециркуляции шламового осадка доза коагулянта ГОХА-8 с 9-10 мг/л была снижена до 2,5-3,0 мг/л. В период проведения ОПИ качество очищенной воды значительно улучшилось и соответствует требованиям, предъявляемым к технической воде.

При низких дозах ГОХА-8 содержание общего железа в фильтрованной воде находится в пределах нормы – «не более 0,15 мг/л». Ранее до изменения схемы подготовки фильтрованной воды наблюдались завышенные значения по содержанию железа. Снижение содержания общего железа и остаточного алюминия в фильтрованной воде позволило снизить нагрузку на ионообменные смолы, сократить расходы регенерационных растворов и повысить эффективность работы установки получения обессоленной воды. Технология рециркуляции шламового осадка из камеры хлопьеобразования в распределительный канал горизонтального отстойника принята в постоянную эксплуатацию, что позволило сэкономить около 20 миллионов рублей в год.

## **«Результаты улучшения способа обезжелезивания подземных вод»**

Докл. к.т.н. в.н.с. Цымбалов Александр Алексеевич  
генеральный директор ООО НО «Архимед»

Опыт ведения водоподготовки и очистки природных вод из подземных источников заставил обратить внимание на одну особенность. Как известно анализ химических элементов воды при разработке систем водоподготовки является одним из основных этапов. Подготовка технического решения по водоподготовке сводится к «вытягиванию» технологическими методами [1,2] исходной воды до нормативных показателей технического задания заказчика.

В процессе практической деятельности, было отмечено, что с течением времени работы водоочистной станции (ВОС) на объекте, примерно через год или два, т.е. в постгарантийный период, фильтрующая среда не справляется с обрабатываемой водой из-за наблюдающихся проскоков увеличивающейся концентрации отдельного химического элемента. В основном этим элементов является железо. Водоносные горизонты Саратовской области, каптирующие подземные воды, имеют следующие интервалы концентрации железа: минимальный 2,0-7,0 мг/л, максимальный 16,0-25,0 мг/л. При ухудшении качества очистки ВОС необходимо было производить дополнительное наращивание оборудования. Эти действия требовали от заказчика финансовых затрат и не всегда положительно отражались на имидже исполнителя данных услуг.

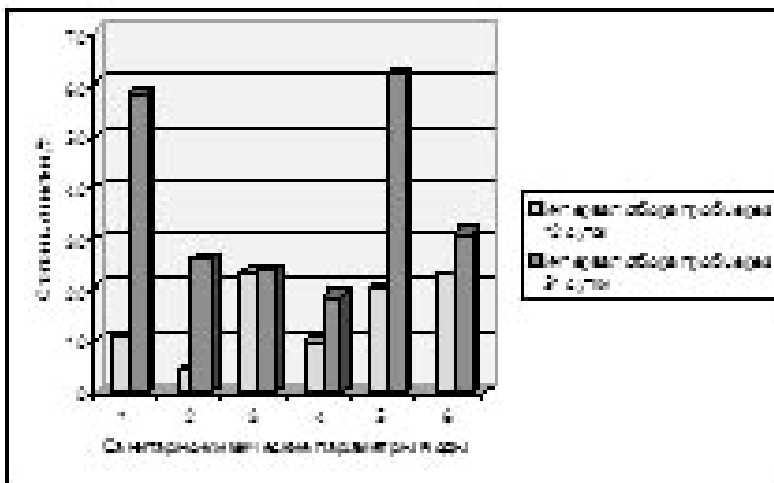
Проведенный системный анализ по проблемным объектам привел нас к первоисточнику подачи воды, т.е. к фильтру скважины. Получив данные химического анализа водоносного горизонта сразу после строительства скважины (указаны в паспорте скважины) и данные анализов до разработки ВОС и в процессе ее эксплуатации обнаружили, что концентрация железа имеет определенный рост. Анализ данных подземных источников показал, что все они, находясь в эксплуатации, длительный период времени 6-12 лет не проводили техническое обслуживание фильтропропускных зон скважины.

В зоне фильтрации околоскважинного пространства (ОСП) скважины в процессе ее эксплуатации создаются условия (гидродинамические, теплофизические, биологические и др.), вызывающие кольматацию поровых каналов водопропускной

среды. Из-за возникновения механической, химической и биологической кольматации происходит как уменьшение дебита скважины через предфильтровую зону, так и изменение физико-химических свойств воды в скважине, в том числе и рост концентрации железа из-за ожелезнения кольматанта [4].

На данных скважинах сотрудниками ООО НО «Архимед» были проведены работы по регенерации фильтров методом ВИГДОС-СИЦА™. Суть метода основана на виброволновом воздействии порового пространства скважины, что приводит к процессу деформирования, потери прочностных свойств и пластификации твердой структуры кольматанта и восстановлению санитарно-химических показателей воды [6]. В результате обработки скважин данным методом удалось снизить концентрацию железа до исходного показателя, т.е. близкую к первоначальному значению.

Метод ВИГДОС-СИЦА™ также был опробован перед установкой ВОС и на вновь пробуренных скважинах [5]. Изменения санитарно-гигиенических показателей воды в зависимости от времени воздействия на ОСП скважины отражены в диаграммах.



Откуда следует снижение показателей: железа общего на 10% и 58%, жесткости общей на 4% и 26%, сухого остатка на 23% и 24%, цветности на 9% и 19%, мутности на 19% и 62%, хлоридов на 22% и 30%.

Степень очистки санитарно-гигиенических показателей в зависимости от отбора проб воды из скважины при использовании метода ВИГДОС-СИЦА™: 1-железо, 2-жесткость, 3-сухой остаток, 4-цветность, 5-мутность, 6-хлориды.

На основании результатов проведенных нами исследований в системе «скважина-ВОС» в Поволжье ООО НО «Архимед» подготовлены рекомендации саратовским компаниям (ООО «НПП «ЛИССКОН», ООО «РЭМО-экология» и др.), осуществляющих очистку природных вод. В рекомендациях отмечалось, что при проведении водоподготовки из подземных источников в напорных и безнапорных горизонтах, т.е. перед установкой ВОС, требуется производить регенерацию фильтров водозаборных скважин методом ВИГДОС-СИЦА™ с целью улучшения санитарно-химических показателей исходной воды, увеличения времени защитного действия фильтрационной загрузки, увеличения межремонтного срока ВОС, увеличения дебита и срока действия жизненного цикла скважины.

Наши наблюдения показали, что после обработки скважин методом ВИГДОС-СИЦА™ количество вызовов в постгарантийный период сократилось на таких объектах. Причина в том, что ВОС работает устойчиво, без поломок и перегрузок. Концентрация загрязнений, поступающая из водоносного горизонта на ВОС, стала прогнозируемой. Сократились выезды на устранение сбоев в автоматике ВОС и в гарантийный период. Так сложилось экономически, что данная обработка ОСП скважин оказалось выгодной и нам и заказчику.

Техническое воплощение предварительной регенерации фильтра скважины в системе водоочистки методом озонирования предложено провести ООО НО «Архимед» совместно с ООО НВФ «ТИМИС» (Москва) [3].

В заключении отметим, что внедренный метод регенерации фильтров скважин в Поволжье позволяет улучшить систему водоподготовки за счет снижения энергоемкости процесса, стоимости ВОС и общих эксплуатационных затрат.

---

#### Список литературы

1. Журба М.Г., Говорова Ж.М. Водоснабжение. Улучшение качества воды: Т.2. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2008.-544с.

2. Рябчиков Б.Е.Современные методы подготовки воды для промышленного и бытового использования. – М.: ДеЛи принт, 2004, 328с.
3. Цымбалов А.А. Новые возможности метода очистки водозаборных скважин с импульсной активизацией призабойной зоны // Озон и другие экологически чистые окислители. Наука и технологии: сб. научн. тр. химического факультета МГУ им. М.В.Ломоносова. – М.: Макспресс,2015.-С.112-122.
4. Цымбалов А.А. Результаты исследований структуры кольматационных отложений в водозаборных скважинах: сб. научн. тр. Саратов. гос. ун-та и Нижне-волжск. НИИ геол. и геофиз. – Саратов: Изд.-во СО Евро-азиат. геофиз. общ-ва, 2014.-С.79-81.
5. Цымбалов А.А. Экспериментальные исследования по улучшению санитарно-гигиенических показателей артезианских вод с применением инновационного оборудования: сб. научн. тр. Саратов. гос. мед. ун-та.-Саратов: СГМУ, 2012.-С.238-240.
6. Цымбалов А. А.О прочностных особенностях кольматанта водозаборных скважин и деструктивных методах воздействия //Водоснабжение, водоотведение, экологическая безопасность строительства и городского хозяйства: сб. научн. тр. НПО ВОДГЕО. Вып. 17 – М: Изд-во ДАР/ВОДГЕО, 2015. – С. 110-112.

## **«Электрохимическая озон-пероксидно-сорбционная очистка сточных вод»**

Докл. Гадлевская Анастасия Сергеевна ведущий специалист группы системы управления знаниями Управления по инновационному развитию, соавторы к.х.н. Потапова Галина Филипповна ведущий научный сотрудник, с.н.с. Мантузов Антон Викторович, к.т.н. Абрамов Павел Иванович заместитель заведующего лаборатории коррозии и электрохимии, д.т.н. г.н.с. Кузнецов Евгений Викторович АО «НИФХИ им. Л.Я. Карпова».

В докладе представлена информация об электрохимическом озон-пероксидно-сорбционном способе водоподготовки. Настоящая работа продолжает цикл исследований, проводившихся под руководством Путилова А.В., Клочихина В.Л. в НИФХИ им. Л.Я.Карпова.

Целью работы является применение электрохимического озон-пероксидного-сорбционного способа для усовершенствования традиционных систем озоновой водоочистки с целью реализации на них дополнительных преимуществ (увеличение на 50% номенклатуры обезвреживаемых экотоксикантов, увеличение глубины очистки не менее чем на 30%).

Разработаны модели управления и оптимизации процессов очистки стоков реальных производств с широким спектром техногенных загрязнений и типовых растворов на основе интенсивного электрохимического озон-пероксидного – сорбционного способа.

На рис. 1 представлена схема многофункциональной установки очистки сточных вод.

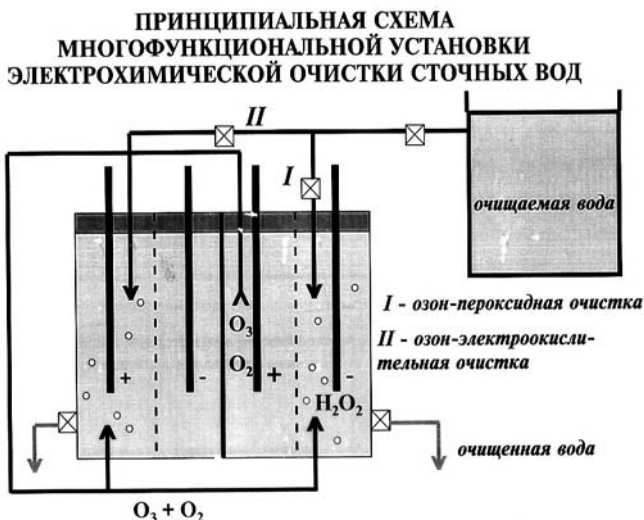
Основной принцип – синергетический эффект in-situ воздействия пероксикатализа, озонирования, сорбции и электровосстановления.

Достоинства обработки природных, сточных вод на катодах из углеродистого волокнистого материала (УГВМ), армированных в Ni материал:

- глубокое окисление и деструкция органических загрязнений;
- детоксификация хлорорганических соединений до полной минерализации;
- нитрификация и денитрификация;
- осаждение тяжелых металлов, гидрооксидов, оксидов;
- отсутствие потребности в расходуемых газах и реагентах;

– обеспечивается экологическая и технологическая безопасность.

Рис. 1



### Сточные воды предприятия Автосервиса

Электрохимическая-озон-пероксидно-сорбционная очистка сточных вод предприятия Автосервиса осуществлялась следующим образом. В катодную камеру электролизера с катодом из углеграфитового волокнистого материала, армированного в Ni компоненту инжестировалась озон-кислородная смесь, получаемая на аноде из стеклоуглерода СУ-2000. Сточная вода производства Автосервис подвергалась обработке по различным вариантам пути I (схема multifunctional установки). Варианты обработки сточной воды: 1 - простое озонирование со скоростью подачи озон-кислородной смеси 7,8-9,8 л/ч., при этом доза израсходованного на реакцию озона составила 490 мг/л.ч ; 2- электрохимическая-пероксидная обработка со скоростью подачи кислорода 7,2-9,6 л/ч. при катодной плотности тока  $1 \cdot 10^{-5}$  А/см<sup>2</sup>; 3- электрохимическая-озон-пероксидная обработка со скоростью подачи озон-кислородной смеси 7,8-9,6 л/ч. при катодной плотности тока  $1 \cdot 10^{-5}$  А/см<sup>2</sup> при этом доза озона и перекиси водорода составила 34 мг/л.ч. Сняты электронные спектры поглощения исходной сточной воды и после обработок по



указанным вариантам. Установлено, при длине волны 220 nm степень очистки сточной воды самая высокая 93% при электрохимически-озон-пероксидной; 82% при электрохимически-пероксидной обработке и 72% при жидкофазном окислении только одним озоном. Скорость синергетической деструкции органических загрязнений растет при одновременном воздействии озона, перекиси водорода и электрического тока. Отметим, что расход озона при озон-пероксидно-электрохимической обработки в 10 раз меньше, а расход электроэнергии (0,24 кВтч/м<sup>3</sup>) в 4-5 раз меньше, чем при жидкофазном окислении только одним озоном.

### Сточные воды производства красителей

Данный способ также эффективен при очистке промышленных сточных вод. Раствор красителей: 2 диметиламино – этана, 1 метил-2-пирромидола, диэтиленгликоль – монобутилового эфира, этиленгликоль – монобутилового эфира с концентрацией 18 мг/л подвергались катодной обработке на технологическом узле Ni сетка + УГВМ катализатор + УГВМ сорбент с непрерывной продувкой O<sub>3</sub>-O<sub>2</sub> смеси и дополнительной стадией сорбции на УГВМ типа Бусофит (см. табл. 1).

**Таблица 1**

Очистка эфир – содержащих сточных вод.

Состав раствора	Условия обработки на Ni-УГВМ-катод + УГВМ-сорбент	Степень конверсии
5% NaOH + р-р: 2-диметиламиноэтан, 1-метил-2-пирромидол, диэтиленгликоль- монобутиловый эфир, этиленгликоль- монобутиловый эфир, общая концентрация – 18 мг/л	Катодная обработка	99%
	Анодная обработка	74% по диэтиленгликолю и 29% по монобутило-вому эфиру
	Катодная обработка + доп. Сорбция на УГВМ типа Бусофит	100%

Установлено, что эффективность очистки на таких комбинированных катодах высокая. Используя метод

жидкостной хроматографии, было установлено, что достигается 99% конверсия красителей при катодной обработке (только при анодной обработке конверсия составляет 74% по диэтиленгликолю и 29% по монобутиловому эфиру). Еще более высокая, 100% конверсия достигается после дополнительной сорбции на УГВМ типа Бусофит.

### Сточные воды, содержащие неорганические азотсодержащие соединения.

Проблема денитрификации сточной воды, повышения качества очистки по азоту до требований ПДК без изменения химического состава очищаемой воды по-прежнему актуальна.

На рис. 2 представлены режимно-технологические параметры электровосстановления  $\text{NO}_3^-$  до молекулярного  $\text{N}_2$ .

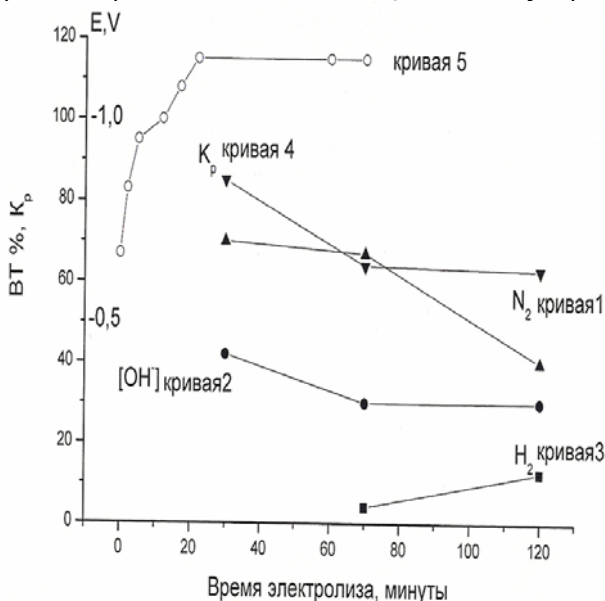


Рис. 2

Кинетика электровосстановления  $\text{NO}_3^-$  на комбинированном катоде в 0,1 н  $\text{KNO}_3$  при токовой нагрузке – 0,1 А. Кривая 1 – выход по току  $\text{N}_2$ , кривая 2 – выход по току  $\text{OH}^-$ , кривая 3 – выход по току  $\text{H}_2$ , кривая 4 – степень разложения  $\text{NO}_3^-$ , кривая 5 – изменение потенциала комбинированного катода.

Как видно, степень разложения  $\text{NO}_3^-$  до  $\text{N}_2$  90% достигается при обработке сточной воды в интервале потенциалов от погружения до  $- (0,2-0,5)\text{В}$  до  $- (1,0-1,2)\text{В}$  при времени обработки 30 мин. в динамическом режиме. В этих условиях одновременно на комбинированных катодах  $\text{Ni} + \text{УГВМ}$  протекает процесс электрохимически управляемой сорбции нитрат ионов на УГВМ. Количество сорбированных  $\text{NO}_3^-$  составляет 10%. Следует особо подчеркнуть, что спектральный анализ раствора  $0.1\text{N KNO}_3$  после электролиза не установил присутствия нитрит – анионов, что подтверждает приведенную схему электровосстановления. После электролиза на спектрах не появляется полоса с максимумом поглощения с  $\lambda = 350 \text{ нм}$ , характерная для  $\text{NO}_2$  нитрит – иона.

Регенерация поверхности комбинированного катода УГВМ +  $\text{Ni}$  в воде анодной поляризацией без затрат реагентов на месте обработки воды.

Ресурс работы, каталитическая активность, сорбционные свойства длительно работавшего комбинированного катода УГВМ +  $\text{Ni}$  с 0% до 94% восстанавливается путем модифицирования катодной поляризацией в децинормальном растворе нитрате аммония.

Разработан способ удаления карбамида из сточных вод, содержащих высокие концентрации нитрит, нитрат – ионов.

Эффективность озono-пероксидно-электрохимического способа также была установлена при очистке природной воды (Расход  $\text{г O}_3$  /  $\text{г ХПК}$ : простое озонирование – 0,2; электрохимически-озон-пероксидное-сорбционное – 0,048).

### **Утилизация дезактивирующих растворов помещений, оборудования, спецпрачечных, спецодежды.**

Представлял интерес выяснение возможности применения электрохимически-озон-пероксидно-сорбционного способа для утилизации дезактивирующих растворов помещений, оборудования, спецпрачечных, спецодежды. Основным компонентом которых является щавелевая кислота. На рис. 3а и 3б представлены результаты окислительного разложения щавелевой кислоты по озono-сорбционному варианту в функции концентрации  $\text{O}_3$  (рис. 3а) и присутствия катализатора-сорбента УГВМ.

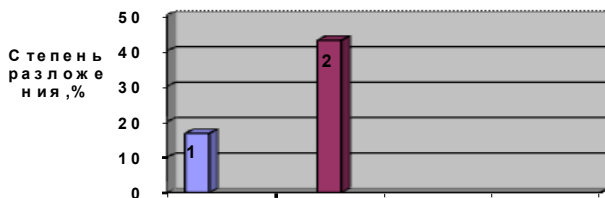


Рис. 3а

Зависимость степени разложения раствора 5%  $C_2H_2O_4$  от концентрации озона при pH=5 и присутствия катализатора-сорбента УГВМ. 1- концентрация  $O_3$  объ.%=0,7 -1,2, 2- концентрация  $O_3$  объ.%=16.

Как видим, при высоких концентрациях озона эффективность окислительного разложения раствора 5%  $C_2H_2O_4$  в 2,8 раз выше. Очевидно окислительное разложение при высоких концентрациях озона преимущественно протекает до полной минерализации, в то время как при низки концентрациях с образованием промежуточных продуктов.

Установлены E redox раствора 5%  $C_2H_2O_4$  при pH=11.

Исходный +0,1 – 0,087 В, после озонирования – 0,035 В.

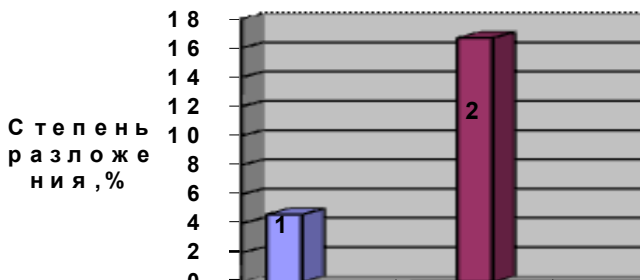


Рис. 36

Зависимость степени разложения раствора 5%  $C_2H_2O_4$  по озono-сорбционному варианту. Озонирование раствора 5%  $C_2H_2O_4$  при  $pH = 5$ , скорость инжeктирования озон-кислородной смеси 4,2 мг/ч. в присутствии катализатора-сорбента углерaфитовый волокнистый материал (УГВМ).

Как видим, в указанных условиях эффективность окислительного разложения в 5-6 раз выше. Столь высокий эффект можно объяснить модифицированием поверхности УГВМ озoном и сорбцией продуктов окислительного разложения. Сорбционная емкость УГВМ после окислительного разложения, увеличивается, на что указывает изменение веса УГВМ.

Сорбционная емкость сорбента-катализатора после окислительного разложения 5вес.%  $C_2H_2O_4$  при  $pH=11$  составила 0,035г/г.

#### **Сточные воды, содержащие ионы цветных, тяжелых металлов.**

Изучены закономерности сорбции ионов  $Co^{+2}$  из раствора  $1 \cdot 10^{-2}$  м/л  $Co(CH_3COO)_2$  углерaфитовых волокнистых материалов, являющихся основным компонентом электродного материала в электрохимически-озон-пероксидно-сорбционной способе очистки сточных вод. На рис. 4 представлена диаграмма зависимости величины оптической плотности полосы поглощения ионов  $Co^{+2}$  на углерaфитовом волокнистом материале разных марок.

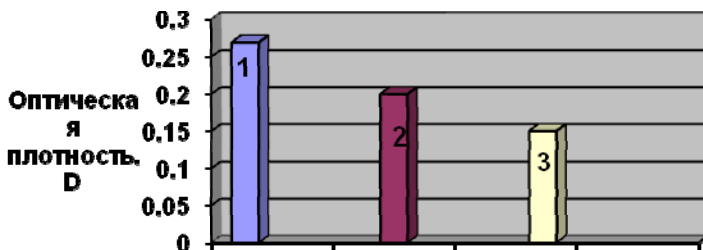


Рис. 4 иллюстрирует влияние марки УГВМ степень извлечения ионов  $\text{Co}^{+2}$  из исходного раствора 1-, после сорбции на УГВМ марка Вискум ТМ-4-2 и после сорбции на УГВМ марки Бусофит ТМ-4.

Как видим, эффективность извлечения ионов  $\text{Co}^{+2}$  даже без предварительного химического или электрохимического модифицирования поверхности УГВМ достаточно высокая. На УГВМ марки Бусофит ТМ-4 составляет 40-45%. Оценены величины сорбционной емкости: 0,005 г/г для Вискума ТМ-4 и Бусофита ТМ-4=0,348 г/г.

Заметим, что степень извлечения ионов  $\text{Ni}^{+2}$  из раствора 1м/л  $\text{NiSO}_4$  на УГВМ составит 40-50%.

Таким образом, электрохимическая озон-пероксидно-сорбционная очистка сточных вод на катодах из углеграфитового волокнистого материала и никелевой компоненты перспективна по сравнению с другими физико-химическими методами, что обусловлено:

- высоким и стабильным эффектом очистки,
- низкой энергоемкостью и материалоемкостью,
- широким диапазоном по окислительной мощности и производительности,
- универсальностью и многофункциональностью.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (соглашение о предоставлении субсидии от 20 октября 2014 года №14.576.21.0053, уникальный идентификатор прикладных научных исследований (проекта) RFMEFI 57614X0053).

**«Разработка технологии водоподготовки на основе обратного осмоса с уменьшенным расходом концентрата»**

Докл. д.т.н. Первов Алексей Германович профессор кафедры водоснабжения, соавтор к.т.н. Андрианов Алексей Петрович доцент кафедры водоснабжения ФГБОУ ВПО «МГСУ».

Описывается разработанная авторами технология утилизации концентратов установок обратного осмоса, состоящая в осаждении карбоната кальция на затравочных кристаллах, находящихся в концентрате.

Представлена экспериментальная методика, позволяющая определить скорости кристаллизации карбоната кальция на кристаллах затравки в зависимости от величины выхода фильтрата, массы внесенной затравки, дозы и вида содержащегося в концентрате ингибитора, а также гидродинамических условий в каналах мембранных аппаратов.

Экспериментально полученные зависимости дают возможность определить основные технологические параметры и подобрать режим работы установки обратного осмоса, позволяющий удалить из концентрата ионы кальция и бикарбонат-ионы без применения реагентов и снизить величину общего солесодержания концентрата. Умягченный концентрат может использоваться для подготовки технической воды.

**«Опыт внедрения противоточных ионообменных и комбинированных технологий умягчения и обессоливания воды»**  
Докл. Балаев Игорь Семенович технический директор, соавторы Кучма Геннадий Геннадьевич административный директор, Кеменов Юрий Викторович коммерческий директор, Спиридонов Николай Евгеньевич инженер ООО ИЦ «Объединенные Водные Технологии».

Для подготовки воды, идущей на подпитку энергетических котлов ТЭС и промышленных предприятий, служат установки химводоочистки (ХВО), которые в зависимости от давления паровых котлов обеспечивают получение либо умягченной (химически очищенной) воды, либо обессоленной воды.

Существующие ХВО в основном используют двухступенчатые схемы ионного обмена (либо натрий-катионирование, либо Н-ОН ионирование) на базе параллельно-точных ионитных фильтров, характеризующихся высокими эксплуатационными затратами (расходы химреагентов, стоки и др.)

В последние 10-20 лет наметилась тенденция по реконструкции или новому строительству ХВО с использованием импортных технологий и оборудования (обратный осмос, противоточная технология АПКОРЕ или Швебебед, электродеионизация) со значительными капитальными затратами и эксплуатационными издержками.

На сегодняшний день в условиях политических и экономических санкций ЕС и США по отношению к РФ, импортозамещение становится решающим фактором при выборе технологии умягчения или обессоливания.

Бесспорно, что на сегодняшний день одной из лучших противоточных технологий ионного обмена является технология АПКОРЕ (UP.CO.RE), принадлежащая Dow Chemical (США). Опыт ее внедрения на территории РФ это подтвердил. В тоже время требование Dow Chemical при внедрении технологии АПКОРЕ использовать инертные материалы и иониты только марки Dowex заставило отечественных разработчиков пойти по пути модернизации, что и позволило использовать отечественные фильтрующие материалы.

К настоящему времени имеется значительный опыт внедрения различных противоточных технологий специалистами ООО «ИЦ Объединенные водные технологии» (далее ИЦ ОВТ) с



использованием отечественного оборудования и фильтрующих материалов, а именно:

- противоточная технология натрий-катионирования (патент на изобретение №2206520), внедрена на НЛМК (г. Липецк), ЗСМК (г. Новокузнецк), «Химпром» (г. Новочебоксарск), Уфимская ТЭЦ-3 и др.;

- противоточная технология Н-ОН – ионирования по получению обессоленной воды (патент на изобретение №2206520), внедрена на КАО «Азот» (г. Кемерово), Новгородской ТЭЦ, Омский каучук и др.;

- противоточная технология Na-Cl – ионирования (патент на изобретение №2205692), внедрена на ОАО «Оргстекло» (г. Дзержинск) и на Новокузнецком алюминиевом заводе.

Принципиально противоточный Na-катионитный фильтр представлен на рис. 1.

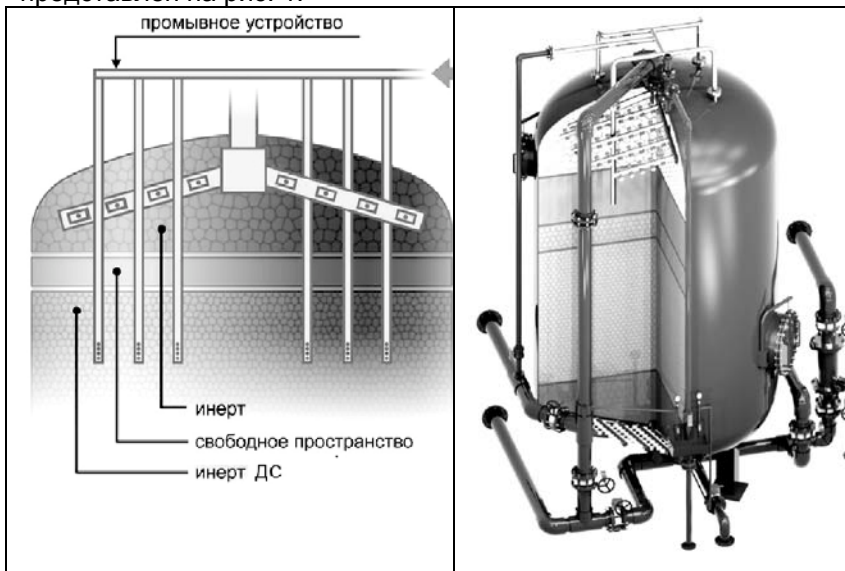


Рис. 1

Визуализация противоточного натрий-катионитного фильтра

Особенностью представленного противоточного фильтра являются следующие отличия:

- верхнее дренажно-распределительное устройство выполнено по принципу «копирующего типа», когда коллекторно-лучевая система монтируется под углом к горизонтальной поверхности с

максимальным приближением к верхней сфере (патент на полезную модель №65783);

– предусматривается дополнительный слой инертного материала (торговая марка INERT DC/ИНЕРТ ДС), с гранулометрическим составом 0,8 – 3,0 мм и плотностью зерен 1,04 – 1,05 г/см<sup>3</sup>, располагающихся между слоем катионита и слоем плавающего инертного материала (торговая марка INERT/ИНЕРТ) и обеспечивающий защиту катионита КУ-2-8 от загрязнения.

– предусматриваются промывные устройства (патент на полезную модель №88573), обеспечивающие эффективную очистку «любого» инертного дополнительного слоя перед регенерацией. Для примера противоточные натрий-катионитные фильтры диаметром 3000 мм с использованием отечественного катионита КУ-2-8 (НЛМК, ЗСМК и др.) имеют следующие технологические показатели, которые не уступают зарубежным технологиям, а именно:

– производительность каждого фильтра составляет 30 – 280 м<sup>3</sup>/ч.;

– жесткость умягченной воды не превышает 5 мкг-экв/дм<sup>3</sup> ( на Уфимской ТЭЦ-3 не более 1,5 мкг-экв/дм<sup>3</sup>) при исходной жесткости 2-5 мг-экв/дм<sup>3</sup>;

– удельный расход соли на регенерацию составляет 90-100 г/г-экв;

– расход воды на собственные нужды (регенерации фильтров) составляет 2-5% от производительности установки и зависит только от жесткости исходной воды (если жесткость составляет 2 мг-экв/дм<sup>3</sup> – то собственные нужды 2%, при жесткости 4 мг-экв/дм<sup>3</sup> – то собственные нужды 4%).

При использовании отечественной технологии противоточного ионирования в схеме обессоливания на КОАО «Азот» г. Кемерово в 2009-2010 г.г. была выполнена реконструкция 4-х «цепочек», каждая из которых состоит из водород-катионитного фильтра диаметром 3400 мм (загружен катионитом КУ-2-8) и анионитного фильтра так же диаметром 3400 мм (загружен высокоосновным анионитом АВ-17-8 и низкоосновным анионитом Пьюролайт РРА-100).

При этом достигнуты следующие показатели работы каждой цепочки:

– производительность 50-300 м<sup>3</sup>/ч. (среднечасовая 190-220 м<sup>3</sup>/ч.);

- электропроводимость обессоленной воды 0,6-1,1 мкСм/см, содержание натрия и кремнекислоты составляет 30-80 мкг/дм<sup>3</sup>;
- удельный расход серной кислоты 90-100 г/г-экв, а едкого натра 60-65 г/г-экв.

По поводу внедрения мембранных технологий. На ТЭЦ ОАО «Аммофос» г. Череповец в 2009 г. была выполнена реконструкция ХВО с увеличением ее производительности в связи со строительством нового цеха сернокислотного производства. Для подпитки нового котла-утилизатора требуется частично-обессоленная вода с электропроводимостью менее 10 мкСм/см. На существующей ХВО использовалась схема двухступенчатого натрий-катионирования, поэтому было принято решение в 2007 г. о ее реконструкции по последующей технологической схеме:

- коагуляция в модернизированных осветлителях ВТИ-200М (автоматизация и установка тонкослойных модулей);
- механические фильтры с двухслойной загрузкой (кварцевый песок и гидроантрацит), обеспечивающие в осветленной воде коллоидный индекс SDI менее 3,0;
- противоточные натрий-катионитные фильтры (патент РФ №2206520), которые были загружены катионитом КУ-2-8;
- частичное обессоливание на установке обратного осмоса (УОО).

Производительность предочистки (осветлители, мехфильтры) и натрий-катионирование – 750 м<sup>3</sup>/ч., производительность УОО – 400 м<sup>3</sup>/ч.

При данной реконструкции было максимально использовано существующие оборудование (осветлители, баки, корпуса фильтров), что позволило значительно сократить капитальные затраты.

Отличием данной схемы от широко тиражируемых установок УОО с дозировкой антискалантов в том, что на УОО направляется умягченная вода.

Такое решение позволяет иметь следующие преимущества при использовании обратного осмоса:

- концентрат от УОО с жесткостью 15-20 мкг-экв/дм<sup>3</sup> в количестве 100-120 м<sup>3</sup>/ч. не сбрасывается в канализацию, а направляется на подпитку закрытой теплосети и на подпитку системы оборотного охлаждения (градирни) предприятия, что

значительно снижает загрязнения поверхностных вод (экологический эффект);

– химические мойки блоков УОО проводятся 1-2 раза в год, что сокращает эксплуатационные затраты на дорогостоящие химреагенты и значительно сокращает сброс агрессивных стоков;

– обратноосмотические мембраны к настоящему времени отработали 5 лет и пока не требуют замены, что значительно снижает эксплуатационные затраты на их замену.

В заключении необходимо отметить, что представленные отечественные технологии и оборудование предочистки (динамические осветлители, механические фильтры), ионообменные противоточные фильтры однотипны и имеют одинаковые высоты, что позволяет их расположить в фильтровальном помещении ХВО, обеспечивая дополнительное снижение капитальных затрат при строительстве здания ХВО (рис. 2).

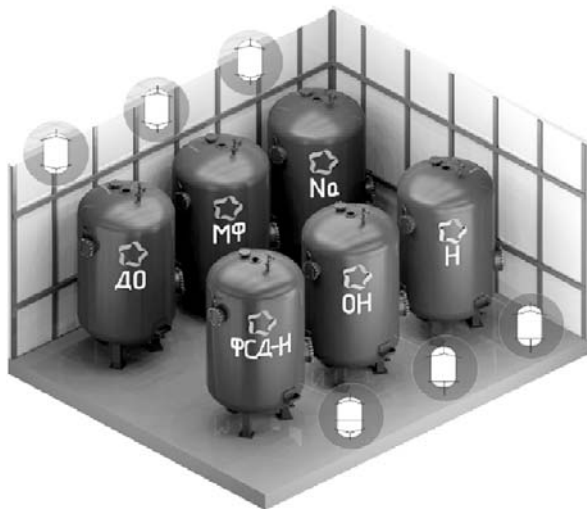


Рис. 2

#### Унификация фильтровального оборудования

Учитывая, что вышеизложенные отечественные технологии и оборудование в области водоподготовки имеют достаточный опыт эксплуатации (свыше 5 лет) на многих промпредприятиях России и обладают высокими

технологическими показателями, не уступающими показателям лучших зарубежных образцов, то можно сделать **ИТОГОВЫЙ ВЫВОД:**

***задачи правительства РФ по импортозамещению в области водоподготовки решены.***

Остается только единственный вопрос – а готовы ли к этим решениям генерирующие компании?