

Амины - альтернатива для водно-химических режимов электростанций

Введение.

В статье основное внимание уделяется пленкообразующим аминам (ПОА), методам ингибирования коррозии путем нанесения пленки на металлические поверхности. В справочнике [1] констатируется:

"Эта защитная гидрофобная пленка служит водоотталкивающим средством и препятствует образованию коррозии под воздействием кислорода и диоксида углерода. Дозирование в питательную воду осуществляется на уровне 1-3 мг/кг".

В бывшей ЧССР, октадециламин применялся с 1952 г. в качестве агента кондиционирования для защиты от коррозии контуров систем централизованного горячего водоснабжения [2].

Применение ПОА в ряде случаев приносит положительные результаты, как то при нанесении слоя защитной пленки на поверхности металла, увеличении величины pH до подходящего уровня во всех трактах котла без повышения общего солесодержания [3-5], и, до определенной степени, даже растворение существующих отложений и других веществ, особенно в сочетании с поликарбонowymi кислотами и их производными [6-8].

Однако, не все отчеты содержат только положительные результаты испытаний. Имеются данные относительно отложений на трубах и клапанах, вплоть до хорошо различимого осадка и трудноудаляемых отложений в баках - сборниках. Вскоре пользователи разделились на две группы. Некоторые защищают кондиционирование с применением аминов, основываясь на собственном положительном опыте, и продолжают отдавать им предпочтение. В других приводятся отрицательные результаты относительно того, что помимо всех положительных аспектов, ПОА могут приводить к опасным отложениям с непредсказуемым риском. Тем временем, первоначальные трудности были решены путем тщательного подбора соответствующего сырья и технологии применения.

Результаты первых детальных исследований пленкообразующего октадециламина опубликованы в [3-9]. Продолжительное дозирование привело к снижению содержания железа, снизило остроту проблем коррозии и - в то же самое время - эффективно улучшило защиту от стояночной коррозии. Эта защита была действенной в течение нескольких недель даже в случае прекращения дозирования. Однако, при длительном дозировании были обнаружены отложения рыхлых оксидов и парафинообразные отложения [9]. Причиной тому была поверхностная активность октадециламина и общая чувствительность аминных групп к длительным термическим нагрузкам. Достаточно сложная процедура дозирования также создавала проблемы, поскольку продукт имелся в наличии лишь в твердом виде и его необходимо было расплавлять и эмульгировать.

В настоящее время, мы сходимся в том, что применение октадециламинов не всегда дает только положительные результаты, но и оставляет многие вопросы открытыми для процесса кондиционирования. Противоположные результаты и менее контролируемые ситуации служат основанием для продолжения общих исследований ПОА.

Общие сведения по ПОА.

Так называемые ПОА, в основном, представляют собой первичные, вторичные и третичные амины с одной или несколькими функциональными группами, которые помимо азота, в основном, содержат длинные алкильные цепи, состоящие из 12-18 атомов. Такая цепь может быть либо насыщенной, либо ненасыщенной. Это делает их обычными компонентами катионных поверхностно-активных веществ (ПАВ).

Такие соединения, включающие неполярную алкильную группу, а также группу делающую их растворимыми в воде, называют амфифильными соединениями. Соединения, трудно растворимыми в воде, в соответствии с существующей точкой зрения, растекаются по

водной поверхности, образуя тонкую мономолекулярную пленку. Гидрофобные алкильные группы находятся в контакте с воздухом, а гидрофильные - в контакте с водой. Этот тип пленкообразования впервые был определен на границе раздела вода/воздух с использованием метода "отрыва кольца". Он влияет не только на границу между водой и воздухом, но и на все межфазные поверхности.

Физико-химические аспекты таких соединений, также называемыми ПАВ, относительно сложны и составляют часть проблем коллоидной химии, которые полностью еще не решены до сих пор. Начиная с определенной концентрации, известной как критическая концентрация мицеллообразования (ККМ), ПАВ способствуют началу процесса агломерации с образованием рыхлых молекулярных комплексов. При концентрации ниже ККМ молекулы ПАВ не образуют агломератов и присутствуют в виде отдельные молекулы. Именно наличие этих свободных молекул приводит к образованию пленки. Перемешивание раствора ускоряет процесс образования пленки. Повышенные количества ПАВ обычно не улучшают процесс образования пленки но при необходимости являются источниками молекул мономеров.

Увеличение количества мицелл не приводит к увеличению поверхностно-активного воздействия поскольку снижение межфазного напряжения продолжается лишь до достижения ККМ. Оно может быть измерено определением межфазной активности в виде зависимости от концентрации. Для аминов, которые успешно используются для образования пленки, эта величина составляет около 10^{-5} мол., что соответствует приблизительно 0,2 мг/кг реального вещества. Эту величину получают при комнатной температуре. Поскольку растворимость ПОА в воде снижается с ростом температуры, ККМ также снижается и определяется равной 0,1 мг/кг при температуре кипения. Растворы с такой низкой концентрацией изменяются в ходе эксперимента в результате адсорбции на стенках, что приводит к значительным отклонениям при измерении концентрации. Это является одной из основных проблем исследований и при использовании.

Основным фактором определяющим ККМ является количество атомов углерода алкильной цепочки. Чем длиннее алкильные остатки, тем ниже ККМ, т.е., меньшее количество молекул способны находиться в свободном состоянии. Однако, при увеличении водорастворимых компонентов, ККМ снова начинает расти. Как раз этим выгодно отличаются жирные алкилполиамины, что Вы можете использовать в Helamin типа Filtro S.A. в Швейцарии.

В процессе адсорбции на гидрофобных поверхностях, силы Ван-дер-Ваальса ориентируют молекулы ПАВ ее гидрофобной жирной цепочкой к поверхности адсорбции; при этом ее гидрофильная группа обращена в сторону водной фазы. И напротив при адсорбции на полярные поверхности ориентация молекул обратная. В данном случае рассматриваются катионогенные ПАВ. Указанное направление соответствует силовым линиям электрического поля. Для материалов на основе железа это означает, что положительно заряженные группы азота будут направлены в сторону отрицательно "заряженных" металлических поверхностей, и жирные алкильные группы ориентированны от поверхности. Действительно, железо, обработанное ПОА, имеет водоотталкивающие свойства. Эти различия можно определить путем измерений методом краевого угла капель на поверхности. С другой стороны, при избыточной подаче, второй слой начинает образовываться поверх первого слоя, в котором группы азота направлены в сторону водной фазы, а жирные алкильные цепочки смешиваются с алкильными цепочками первого слоя. Посредством адсорбции, гидрофильные поверхности могут стать гидрофобными, и наоборот, гидрофобные поверхности могут стать гидрофильными. При обработке металлов и очистки поверхностей используются также жирные амины и их производные для очистки ржавчины.

Помимо образования защитной плёнки, амины выполняют важную функцию подщелачивания воды, подщелачивание происходит как водной, так и паровой фаз. Для сбалансированного подщелачивания в этих двух фазах необходима определённая летучесть (испаряемость) составных компонентов. Летучесть (испаряемость) реальных жирных аминов слишком низка чтобы регулировать величину рН элементов оборудования, находящихся в контакте с паром. Характеристики летучести (испаряемости) алкиламинов с более короткими цепочками, в зависимости от длины и природы их алкильных групп, находятся между

характеристиками аммиака и жирных аминов с более длинными цепочками, и позволяют регулировать величину рН в более широком диапазоне. В последующих исследованиях использовали продукты Helamin представляющий собой сочетание селективных аминов различных длин цепи и их отдельных компонентов.

Верификация пленкообразования.

Капля воды, ударяющаяся о почерневшую внутреннюю поверхность трубы, демонстрирует водоотталкивающие свойства пленкообразующего октадециламина [3]. Жирные алкиламины в виде катионных ПАВ обычно распространяются по положительно заряженной металлической поверхности. Это способствует широкому применению катионных ПАВ. Адсорбция обсуждается на примере образования структурированных слоев, аналогично "модели щетки", согласно которой остается неясность относительно того, образуются ли одиночные слои или несколько слоев [1].

Покрытие поверхности с помощью адсорбции можно моделировать, используя изотерму адсорбции. Хотя нас интересовал вопрос защиты от коррозии железа, мы использовали отрезки металла (удаляемый металл заготовок) из нержавеющей стали. Использование железа нецелесообразно по причине корродирования материала с последующим значительным растворением в воде и накоплением гидроксида железа под воздействием кислорода, что приводит к флокуляции ПОА. В качестве ПОА использовали соответствующий Helamin, при этом концентрация в водном растворе измерялась по цвету реакции. Этот метод также находит применение на практике [10].

В течение первых 10 минут наблюдалось типичное поведение изотермы адсорбции. Скорость распространения была относительно высокой. Затем, стали проявляться эффекты дисперсии на поверхности, и концентрация продукта на ней снизилась. Это может быть объяснено тем, что вначале имеет место обычная дисперсия без четкого образования слоя с последующей ориентацией фазы, в процессе которой физическая адсорбция переходит в химическую адсорбцию. Количественный анализ ВЕТ поверхности показал, что она покрыта единичным слоем типа щетки. Плотность пространства можно было определить лишь приближенно. На основе полученных данных представляется, что поверхность была плотно сжатой. Этот факт также объясняет процесс изменения ориентации после 20 мин. До взятия участков плотного контакта (связывания) могли уже находиться неиспользованные промежутки.

Снятие изотермы адсорбции в присутствии большого избытка ПОА, остается - после промывки - почти постоянное количество аминов на отрезках металла, которые не удалялись при промывке водой.

Межфазное напряжение (натяжение) можно также использовать в качестве свидетельства изменения характеристик поверхности. Оно часто используется в методе Вилхелми (Wilhelmy) для измерений в сверхчистой воде с использованием краевого угла (18,2 МОм). Образец медленно погружается в воду и затем вынимается. Процесс контролируется по шкале. Межфазное напряжение (натяжение) рассчитывается по количеству воды, которое забирает образец.

Для экспериментов использовали обычно применяемый при коррозионных испытаниях образец из железа (ST 37), который помещали в стандартный раствор ПОА (Helamin 9012 Н), затем его вынимали и тщательно промывали. Измеряемый краевой угол составлял 90 град. и при повторных измерениях снижался почти до 80 град. В чистой воде соответствующие значения составляли 85 и 25 град. В целом эксперимент занимает 20 мин. Представляется, что в течение этого времени Helamin удерживается даже в сверхчистой воде. Увеличение смачиваемости сверхчистой водой (уменьшение краевого угла) является результатом прогрессирующей коррозии. В отношении образца, обработанного Helamin, не было отмечено никаких изменений. Это является свидетельством того, что поверхность стала гидрофобной и что она защищена от коррозии, а также наличия силы адгезии в воде.

Контроль поверхности методом ИК-спектроскопии.

Высокая сила адгезии (прочность прилипания) пленки при промывке свидетельствует о наличии механизма химической адсорбции. Если ПОА прилипают к поверхностям железа или оксидов железа аминогруппами, то это можно подтвердить с помощью ИК-спектроскопии. Метод инфракрасной адсорбционной спектроскопии (IRAS) выбран для условий, когда инфракрасный свет излучается под углом 85 град. к поверхности, при этом соответственно поглощенный или отраженный свет определяется и измеряется под тем же углом, иными словами, со сдвигом угла света в 5 град. к поверхности железа.

Небольшая полированная пластина образца для испытаний из стали марки ST 37 обрабатывалась с помощью раствора Helamin 9012 с концентрацией 1000 мг/кг при температуре 90°C в течение 90 мин., для образования слоя поглощающей пленки с последующей тщательной промывкой. После этого непосредственно ПОА (не раствор) наносились на другую пластину образца с целью сравнения.

Анализ показал существенные различия в образцах. Колебания валентности СН в случае пленкообразующего слоя смещаются с 2925 до 2929 и с 2854 до 2858 к более высокой частоте. В области колебаний NH деформации, обычно в диапазоне 1650-1550 см⁻¹, в пленке появляется интенсивные колебания при 1681 см⁻¹. Все последующие диапазоны значительно смещены.

Это также справедливо для колебаний валентности NH. Возможно, они смещаются к 3626 и 3736 см⁻¹. Существует некоторая неопределенность поскольку диапазоны для воды появляются в той же самой области. Естественно фон исключался, однако, ожидалось существенно большие диапазоны, чем упомянутые два.

Устойчивость аминов.

Устойчивость реакций и конечные продукты, и соответственно последующие реакции и конечные продукты являются важными вопросами относительно спектра влияний. Все кто знаком с аминами знает, что они являются химически активными веществами и поэтому имеют более или менее ограниченную устойчивость. Некоторые особенно чувствительные амины под воздействием воздуха начинают изменять свой цвет. Другие органические соединения начинают разлагаться при температурах выше 250° С. Это также можно ожидать от жирных алкиламинов с длинными цепями. Наоборот, некоторые амины более устойчивы при интересующих нас условиях и начинают претерпевать изменения только при температурах выше 350 °С.

Однако на практике это не обязательно должно означать потерю эффективности при эксплуатационных условиях. Представляется, что существует различие между химреагентом как таковым и пленкой, образованной в процессе хемосорбции в разбавленном растворе.

Из-за сложных эксплуатационных условий парогенератора подобные эксперименты на реальных ПГ являются дорогостоящими и трудоемкими при соблюдении стандартных требований к проведению экспериментов (повторяемость и оценка наблюдаемых явлений). По этим причинам эксперименты проводились в автоклаве. Приводятся результаты исследований в условиях, адаптированных к условиям ПГ.

В автоклаве разбавленный раствор Helamin подвергался воздействию температуры 420° С в течение 24 ч. После удаления из автоклава можно было все еще обнаружить ПОА. Автоклав промывали в 1000 объемах водопроводной водой. После этого в экстракте хлороформа ПОА можно было обнаружить методом газовой хроматографии и по колориметрической реакции, используемой на практике [11].

При образовании олефинов и возможно радикалов, восстановительная среда создается в пленке и на поверхности металла. При этом происходит реакция с растворенным кислородом и кроме того снижается количество соединений железа (III), а красная ржавчина превращается в черный магнетит. Это объясняет, почему обрабатываемые аминами котлы имеют внутренние поверхности черного цвета.

Наличие структурных изменений можно было обнаружить при испытаниях ПОА раствора в условиях биолюминесцентного ингибирования до и после длительных термических

нагрузок. Катионные жирные алкильные соединения обладают биоцидным действием, однако, в основном, в растворах более высокой концентрации по сравнению с теми, которые используются при кондиционировании воды. После термических нагрузок (400°C в течение 8 часов) биоцидный эффект ПОА почти полностью терялся.

Удаление кислорода с помощью ПОА.

Способность удаления растворенного кислорода является одним из необходимых свойств добавок в питательную воду котлов. Если в случае использования для этих целей гидразина, то - помимо подщелачивания-, это вопрос приоритета, полиамины не обладают такой способностью, по крайней мере при низких температурах. Однако, при высоких температурах они также поглощают молекулярный кислород. Этот вопрос исследовался при проведении испытаний в автоклаве. Автоклав наполнялся содержащей кислород водой и при добавлении Helamin нагревался в течение 8 ч до 400°C и затем охлаждался. Потеря кислорода без и с Helamin соответственно составляла 16% и 35%. В автоклаве (60 бар) значительная потеря кислорода происходила из-за не герметичности (через уплотнение). В Табл.1 приведены результаты по отдельным испытаниям.

Другое испытание имело целью определить действительно ли образованная пленка Helamin на стенках автоклава способствует удалению кислорода. Другой вопрос заключался в следующем: существуют ли какие-либо различия в характеристиках пленки, образованной при комнатной температуре и при более высоких температурах? Пленки образовывались при применении более концентрированного раствора при комнатной температуре и при 400°C. После этого, не прилипший Helamin смывался и после вышеупомянутой процедуры, измерялась потеря кислорода после обработки при 400°C. Между экспериментами автоклав тщательно промывался хлороформом.

Табл.1. Абсорбция кислорода при испытании в автоклаве при температуре 400°C с удаляемым из раствора Helamin в сравнении с аналогичным испытанием без Helamin

Условия испытаний	Кислород		Потеря кислорода
	до	после	
	испытания в автоклаве		
	[%]		
Эксперимент 1 8 ч, обессоленная вода (для сравнения)	95	81	15
	95	81	15
	95	79	17
	95	78	18
Эксперимент 2 8 ч, Helamin 906 Н	95	61	36
	95	63	34
	95	61	36
	95	63	34
Эксперимент 3 8 ч, пленка образована при 20° С	94	78	17
	94	78	17
	94	76	19
Эксперимент 4 8 ч, пленка образована при 400° С	95	73	23
	96	74	23
	94	71	24

Абсорбция кислорода пленкой, образованной при комнатной температуре составляла 17%, по сравнению с 23% для пленки, образованной при 400 С. Для сравнения, в Эксперименте 1 эта величина составляла 16% при отсутствии ПОА.

Пленка, образованная при высокой температуре, очевидно, прилипает хорошо и абсорбирует молекулы растворенного кислорода при более высоких температурах. Мы пока не можем определить как конкретные реакции, приводящие к потреблению кислорода, так и вновь образуемые вещества. Некоторые низкомолекулярные амины образуют уксусную и муравьиную кислоты. Фактически, ПОА не образуют летучих кислот. Реакция кислорода может быть вызвана дегидрированием (дегидрогенизацией) в цепи углеводов.

Абсорбция окисного (оксидного) кислорода ПОА типа Helamin и упрочнение слоя магнетита.

ПОА могут также выводить кислород из кислородосодержащих соединений. Обработанные с помощью Helamin трубы котла с накипью красноватого цвета, содержащей железо, постепенно приобретают черный цвет уже при 100°C и превращаются в темный, наподобие магнетита оксид.

Helamin не только реагирует с оксидом железа (III), но также оказывает влияние на процесс образования слоя магнетита. Нижеследующие эксперименты показывают воздействие Helamin на образование слоя магнетита и его влияние на оксидный слой, образованный без Helamin.

В первой серии экспериментов проводилось исследование реакции воды с поверхностью из углеродистой стали. Отполированную пластину из углеродистой стали испытывали в лабораторном автоклаве в течение недели в обессоленной и дегазированной воде при 140°C. После одной недели на поверхности были обнаружены неравномерно распределенные кристаллы магнетита, однако, непрерывный слой отсутствовал.

После четырех дополнительных недель непрерывной обработки обессоленной и дегазированной воды при 140°C, меньшая часть поверхности была покрыта магнетитом и он сократился до нескольких зон. На поверхности осталось лишь несколько кристаллов магнетита и, в основном, она была без магнетита. Начался процесс образования питтинговой коррозии, особенно заметной внутри зон магнетита в непосредственной близости от кристаллов магнетита.

Изменения на поверхности можно оценить по наличию элементов на ней. Исследование поверхности, обработанной при 140°C с использованием Helamin и без него и с применением метода рентгенографического люминесцентного анализа на основе дисперсии энергии, дали следующие результаты: в то время как необработанный образец из углеродистой стали уже демонстрировал признаки наличия оксида железа, заметные по линии кислорода рядом с небольшой линией железа, которая появляется только лишь в виде промежуточной части (графика), содержание кислорода снизилось существенно в течение четырех дополнительных недель непрерывной обработки обессоленной и дегазированной воды. Линия кислорода сузилась до промежуточной части (графика).

Тот же тип образца обрабатывался с помощью Helamin 906 Н, содержащего полиакрилат. В течение первых двух недель содержание кислорода сначала возросло, а затем оставалось постоянным.

Исследование поверхности подтвердили результаты эксплуатационных испытаний. Образованные в присутствии Helamin слои магнетита прочно прилегают к поверхности, тогда как слои, образованные без защитных мер, отслаиваются.

Обработка образца из той же стали при 140 С в растворе Helamin 906 Н с концентрацией 20 мг/кг, при прочих равных условиях, показала образование однородного слоя магнетита. После продолжения обработки в течение двух недель появился ровный и плотный защитный слой, покрывающий всю поверхность.

Существующие слои магнетита улучшаются при обработке с помощью Helamin. Слой магнетита образовывался без Helamin при 140°C в обессоленной и дегазированной воде при открытии автоклава и 5-ти разовой смене воды в течение 16 ч. После этого слой обрабатывался 1, 2, и 3 раза в течение 16 ч каждый раз при 400° С, используя раствор Helamin 906 Н с концентрацией 20 мг/кг. Такой слой, образованный без Helamin, иногда наблюдается частично открытым и в виде зон. После первой обработки слой становится существенно менее плотным и более мелким по структуре после второй и третьей обработок. Как говорилось

выше, эти изменения могли произойти лишь под воздействием компонентов Helamin 906 H. После продолжительной обработки без Helamin, соотношение железа и кислорода в оксидных слоях (пленках) стало таким же как и в Fe_2O_3 . При обработке и с применением Helamin, указанное соотношение стало почти таким же как и в Fe_3O_4 (магнетите).

Почти идентичные поверхности были получены при дозировке ниже 20 мг/кг, а также при исключительно высоких дозировках порядка 1000 мг/кг. Поэтому, не кажутся обоснованными опасения относительно того, что передозировка Helamin может привести к недооценке результатов и началу отслаивания имеющихся слоев магнетита. Пленка Helamin имеет скорее положительный эффект на образование слоя магнетита.

Кроме железа и кислорода, на образце из углеродистой стали, обработанным с помощью Helamin 906 H (смесь пленкообразующих аминов и полиакрилата), могут быть также обнаружены углерод и азот. Из-за низкой чувствительности аналитического метода общее количество не было определено. Несмотря на более высокие температуры по сравнению с диапазоном устойчивости алифатических аминов, кроме азота и углерода удаётся определить специфические для Helamin компоненты.

Представляет интерес различное соотношение количества железа и кислорода. Часть железа на образце, обработанным с помощью Helamin, более четко видна, чем в холостой пробе с водой. Это коррелирует с более высоким содержанием железа в магнетите (Fe_3O_4) по сравнению с обычной ржавчиной (Fe_2O_3). Надежная количественная оценка не была возможной, поскольку группу сигналов, содержащую сигналы углерода, азота и кислорода, нельзя было разделить.

Электрохимические методы анализа процессов коррозии.

Возникновение коррозии является результатом процессов, при которых происходит обмен электронов в паре системы. Поэтому, они являются частью электрохимии и должны исследоваться с помощью электрохимических методов [6]. Эти с теоретической точки зрения точные методы имеют недостаток, связанный с необходимостью использовать рабочий электролит. Это электролит высокой концентрации, условия реакции весьма далеки от реальных условий обработки питательной воды котлов. По этой причине, полученные результаты нельзя рассматривать как абсолютные величины, а только в терминах "более" или "менее" определяющих коррозию.

Эксперименты с использованием спектроскопии на базе электрохимического импеданса, методов циклического измерения напряжения и тока, и построения зависимостей плотности тока от потенциала (известные как диаграмма Тафеля /Tafel/), включая измерения потенциалов коррозии, подтверждают характеристики ингибиторов коррозии ПОА. Эти методы применимы для изучения возможностей улучшения рабочих режимов, а также влияния различных добавок, способных повысить качество продуктов, имеющихся в настоящее время на рынке [11].

Экологические аспекты.

Амины в качестве солей четвертичного основания часто используются для защиты от коррозии. Рассматриваемые в данном контексте амины при обычных концентрациях являются легко биологически разлагаемыми продуктами. Они классифицированы после проведения пищевых экспериментов на крысах, как "слаботоксичные", и представляют меньше проблем для людей, чем, например, гидразин. Ингибирование путем образования защитного слоя с помощью гидразина может быть достигнуто аналогичным образом с использованием Helamin. В соответствии с правилами, Helamin является безопасным и относится к Классу 1 по опасности для воды (WGK 1).

Заключение.

Соответствующее применение ПОА можно продемонстрировать на следующем примере. Под давлением клиентов текстильная фабрика решила подготовить экологический

аудит. Анализировались "узкие" места при обращении с материалами и при их обработке. Было принято решение заменить химреагенты, используемые для обработки питательной воды на собственной ТЭЦ, смесь гидразина, аммиака и NTA, экологически менее вредными веществами. После летнего простоя, три котла перевести на режим обработки воды с применением ПОА (Helamin 906 Н с добавкой некоторого количества полиакрилатов). Эта работа была проведена совместно с TUV.

Подпиточная вода с общей жесткостью $<1 \text{ }^\circ\text{dH}$ ($< 18 \text{ мг/кг CaCO}_3$) часто содержит около 48 мг/л диоксида кремния. По рекомендации консультанта, в соответствующей точке системы питательной воды вводили разбавленный реагент для кондиционирования. При этом контролировалась концентрация ПОА в питательной воде до турбины и в конденсате, и поддерживалась на уровне 0.5 и 2.0 мг/л. Величина рН была стабильной в необходимом диапазоне работы системы. Частота продувки была существенно снижена. Было отмечено значительное увеличение мощности турбины. Котлы находились в работе в период с понедельника по пятницу включительно с перерывами на субботу и воскресенье. До изменения ВХР мощность турбины имела тенденцию к снижению во второй половине недели, в целом почти на 3,3 % к концу недели. После каждого останова, снова достигалась полная мощность. В процессе инспекций на лопатках турбины не было обнаружено отложений. При применении Helamin мощность турбины оставалась стабильной.

Возможно, имеют место некоторые отложения, напр. силиката, однако они удаляются при пуске турбины из холодного состояния (после останова на субботу и воскресенье). В значительной степени, Helamin действует в качестве ингибитора отложений. Результаты лабораторных исследований показали, что ПОА могут размягчать силикатные отложения, что уже отмечалось в 1975 г.[8]. Это явление, известное из многих других сходных применений, может быть также причиной стабильных результатов. При обнаружении отложений, в течение определенного периода производится очистка с повышенной дозировкой полиакрилатов. Затем дозировка снова снижается.

Сделанные вначале заявления о том, что ПОА могут использоваться в качестве ингибиторов коррозии, стабилизатора величины рН в необходимом диапазоне работы системы, для обеспечения непрерывных рабочих режимов без отложений, подтверждены и могут быть в настоящее время объяснены. Опасения относительно образования карбоновых кислот с короткими цепями не подтверждается при использовании жирных аминов с длинными цепями. При сочетании соответствующих выбранных аминов с некоторым количеством анионных полиакрилатов может привести к увеличению диспергирующих свойств продукта. При малой дозировке полиакрилатов, положительный эффект ПОА не снижается.

Вышеприведенный пример, наряду с другими, демонстрирует, что удаление кислорода с помощью специальных химических веществ не является обязательным при условии адекватной термической дегазации.

Это предположение в прошлом вызывало ощущение отсутствия безопасности, однако, оказалось привлекательным, поскольку более низкое солесодержание приводит к не столь частым продувкам. В результате экономится электроэнергия. После того, как в процессе плановых инспекций было установлено, что после применения Helamin многие котлы находятся в хорошем состоянии, круг "смелых" пользователей расширился и это пошло им на пользу. Тем временем, помимо хороших качеств для кондиционирования проявились многие другие относительно положительные моменты применения ПОА. Последнее, но не менее важное - указанные продукты выгодно отличаются по своим экологическим характеристикам.