



атомэнергомаш



РОСАТОМ

«Обобщение опыта защиты от атмосферной коррозии энергооборудования АЭС и ТЭС путем его консервации по ODACON-технологии»

Сообщение главного конструктора проекта ОАО «ВНИИАМ»

Кукушкина Александра Николаевича

2013 год

Стояночная атмосферная коррозия протекает при наличии влаги, кислорода, углекислоты и других коррозионно-агрессивных веществ.

Ущерб, связанный с атмосферной коррозией, представляет наибольшую опасность для энергетического оборудования из-за образования местных повреждений металла: язв, трещин на поверхностях, испытывающих максимальные нагрузки.

Одним из перспективных методов борьбы с атмосферной коррозией является метод, связанный с применением контактных ингибиторов.

Наиболее эффективными ингибиторами являются пленкообразующие амины, в частности октадециламин ODA – $C_{18}H_{37}NH_2$, коррозионно-защитное действие которого основано на создании на поверхности металла оборудования устойчивого адсорбционного слоя молекул ODA, предохраняющего его от воздействия кислорода, углекислого газа и других коррозионно-агрессивных веществ.

ОДА-технология консервации разрабатывалась ведущими научными коллективами России (МЭИ, ВНИИАМ, ЦКТИ, ВНИИАЭС, ОКБ «Гидропресс», ЦНИИТМАШ, АТЭ) и Германии (Институт энергетики, Институт изотопов, Институт материаловедения, фирмы REICON и LEIMOS GmbH) и в настоящее время внедрена на более, чем 200 объектах атомной и тепловой энергетики в России и за рубежом.

За комплекс работ по ОДА-технологиям российский авторский коллектив удостоен Премии Совета министров СССР и Премии правительства России.

- **Надежная защита от атмосферной коррозии (коэффициент защиты 80-95%) внутренних поверхностей оборудования и трубопроводов, выполненных из различных конструкционных материалов, на длительный срок (до 10 и более лет).**
- **В процессе консервации производится частичная отмывка внутренних поверхностей оборудования от ранее образовавшихся в процессе эксплуатации железистоокисных отложений и коррозионно-агрессивных веществ (хлориды, сульфаты).**
- **После пуска оборудования в эксплуатацию гидрофобная пленка аминов частично предохраняет металл оборудования от всех видов эрозионно-коррозионного изнашивания на срок 2 - 3 месяца. Для ПВД, ПГ, ЦВД коррозионно-защитная пленка ОДА сохраняется в эксплуатационном режиме в течение не менее 7000 часов.**
- **Ежегодное использование консервации с помощью ОДА-технологии позволяет увеличить период между химпромывками ПГ или отказаться от их проведения.**
- **Консервация осуществляется без значительных временных и трудовых затрат.**
- **Обеспечивается экологическая безопасность.**

Технология имеет патентно- правовую защиту, узаконена Типовым технологическим регламентом «Консервация оборудования и трубопроводов вторых контуров АЭС с ВВЭР с использованием пленкообразующих аминов» (РД ЭО 0408-02) и Методическими указаниями по консервации теплоэнергетического оборудования с применением пленкообразующих аминов (Дополнение к РД 34.20.591-97).

РД ЭО 0408 - 02

МИНИСТЕРСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ
Государственное предприятие "Российский государственный концерн
по производству электрической и тепловой энергии на атомных станциях"
КОНЦЕРН "РОСЭНЕРГОАТОМ"

СОГЛАСОВАНО

Начальник 2 Главного Управления
Госатомнадзора России

С.А. Адамчик
2003 г.

УТВЕРЖДАЮ

Технический директор
концерна "Росэнергоатом"

22.01.03 Н.М. Сорокин
2003 г.

ЛИСТ УТВЕРЖДЕНИЯ

ТИПОВОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РЕГЛАМЕНТ

**КОНСЕРВАЦИЯ ВТОРОГО КОНТУРА АТОМНЫХ
ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ С РЕАКТОРАМИ ВВЭР
С ПРИМЕНЕНИЕМ ОКТАДЕЦИЛАМИНА**

РД ЭО 0408-02

Директор ГУП ВНИИАМ

Заведующий отделом стандартизации

Заведующий отделом

Заведующий лабораторией

Филиппов Г.А.

Голубчиков В.М.

Кукушкин А.Н.

Батяев Р.С.

РД ЭО 0408 - 02

МИНИСТЕРСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ

Государственное предприятие "Российский государственный
концерн по производству электрической и тепловой энергии на
атомных станциях"
Концерн "Росэнергоатом"

«Утверждаю»

Технический директор
концерна «Росэнергоатом»

Н.М. Сорокин
22.01.03

ТИПОВОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РЕГЛАМЕНТ

**КОНСЕРВАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ И
ТРУБОПРОВОДОВ ВТОРЫХ КОНТУРОВ АЭС С ВВЭР
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЛЕНКООБРАЗУЮЩИХ
АМИНОВ**

РД ЭО 0408 - 02

М. - 2002

“СОГЛАСОВАНО”:
 Главный инженер ОАО Фирма ОРГРЭС”
 (подпись)
 В.А.Купченко
 (подпись)
 1998 г.
 (подпись, инициал, год)

“УТВЕРЖДАЮ”:
 Первый заместитель начальника
 (подпись)
 Департамента стратегии развития и
 научно-технической политики
 А.П.Берсенева
 (подпись)
 1998 г.
 (подпись, инициал, год)

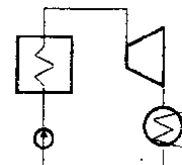
Организациями - разработчиками способа и технологий консервации теплоэнергетического оборудования с применением пленкообразующих аминов являются Московский энергетический институт (Технический университет) (МЭИ) и Всероссийский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт атомного энергетического машиностроения (ВНИИАМ).

Дополнение к РД 34.20.591-97 “Методические указания по консервации теплоэнергетического оборудования с применением пленкообразующих аминов” подготовлено МЭИ, ВНИИАМ, ЗАО “Наука”.

Консервация теплоэнергетического оборудования электрических станций и котельных с использованием пленкообразующих аминов должна осуществляться при участии, под контролем или при согласовании с организациями-разработчиками.

Издание официальное

Настоящее дополнение к Руководящему Документу не может быть полностью или частично воспроизведено, тиражировано и распространено в качестве официального издания, а также использовано в других отраслях без разрешения организаций - разработчиков к РАО “ЕЭС России”.



**РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ
 ДЛЯ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ
 И КОТЕЛЬНЫХ**

руководящий документ

руководящий документ
 руководящий документ

руководящий документ

руководящий документ

руководящий документ

руководящий документ

руководящий документ

руководящий документ

руководящий документ

руководящий документ

руководящий документ

руководящий документ

руководящий документ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО КОНСЕРВАЦИИ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПЛЕНКООБРАЗУЮЩИХ АМИНОВ

Дополнение к РД 34.20.591 - 97

Москва 1998

Наиболее длительная консервация энергетического оборудования с использованием ОДА-технологии была проведена на Армянской АЭС, где период простоя после экстренного останова двух энергоблоков в связи с землетрясением составил более 5 лет, и четырех энергоблоков АЭС «Норд» (Германия), период простоя которых составляет уже более 20 лет.

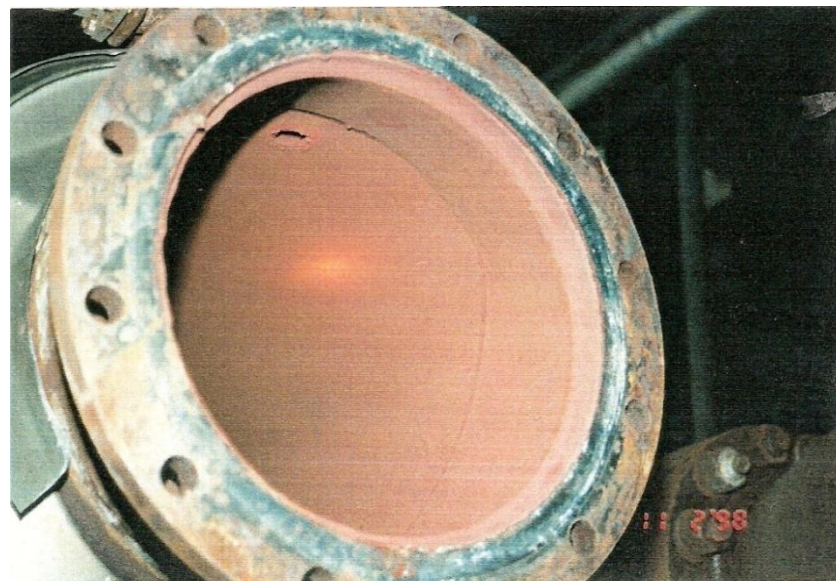
Энергоблок № 2 Армянской АЭС после положительного заключения международной экспертизы был запущен в эксплуатацию и выведен на номинальную мощность в кратчайший срок.

Анализ состояния поверхностей оборудования 2-го контура четырех блоков АЭС «Норд» через 20 лет после вывода из эксплуатации свидетельствует о высоких (на уровне 70-80%) коррозионно-защитных свойствах адсорбционной пленки ОДА.

Консервация оборудования энергетических блоков по ОДА-технологии проводилась также на Кольской, Балаковской, Нововоронежской АЭС (Россия), АЭС «Пакш» (Венгрия), АЭС «Козлодуй» (Болгария), Запорожской АЭС (Украина).



**Ярко выраженная гидрофобность
поверхности**



**Полностью отсутствуют следы стояночной
коррозии**

**Состояние поверхности трубопровода питательной воды энергоблока №2
АЭС «Норд» после 20 лет останова**

Фундаментальные исследования специалистов России и Германии позволили усовершенствовать ОДА-технологию.

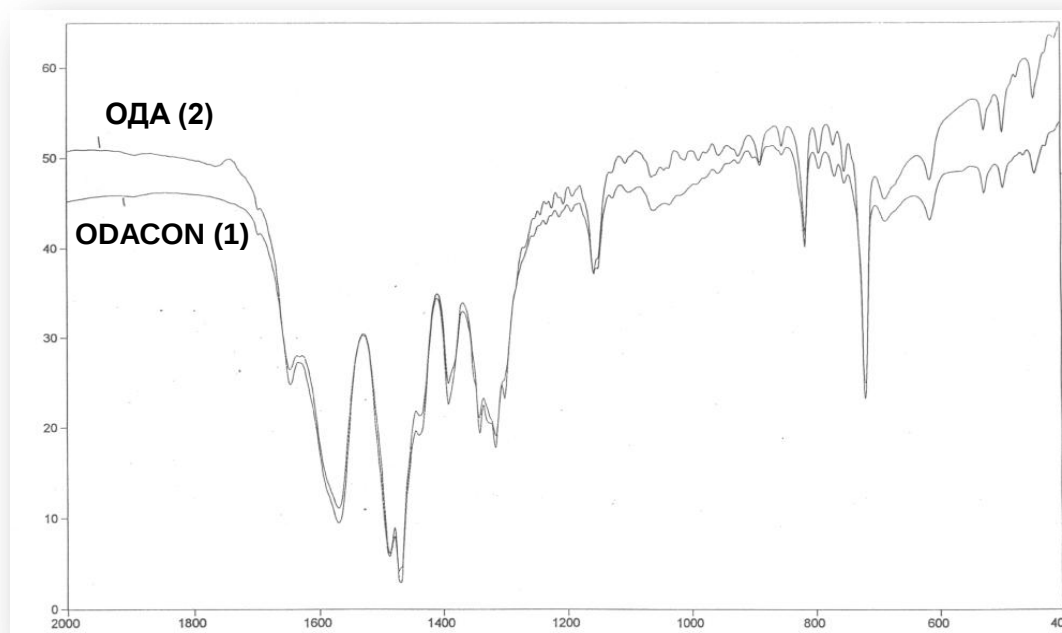
В качестве ингибирующего реагента используется высококачественный технический реагент ODACON (ОДА кондиционный) высокой степени очистки, содержание первичных аминов в котором составляет не менее 99,9%, при минимальном количестве примесей (йодное число – менее 1,0).

Разработана технология и осуществлено промышленное внедрение установки по производству устойчивой водной суспензии ODACON (при этом дозирование реагента осуществляется при комнатной температуре) и прибора контроля его концентрации, что предельно упрощает процесс дозирования и расширяет области применения ODACON-технологий.

В качестве корректирующего реагента используется технический октадециламин высокой степени очистки (ODACON)

(содержание первичных аминов составляет не менее 99,0%, минимальное количество нежелательных примесей – отсутствие нитрилов и амидов, йодное число – менее 1,0)

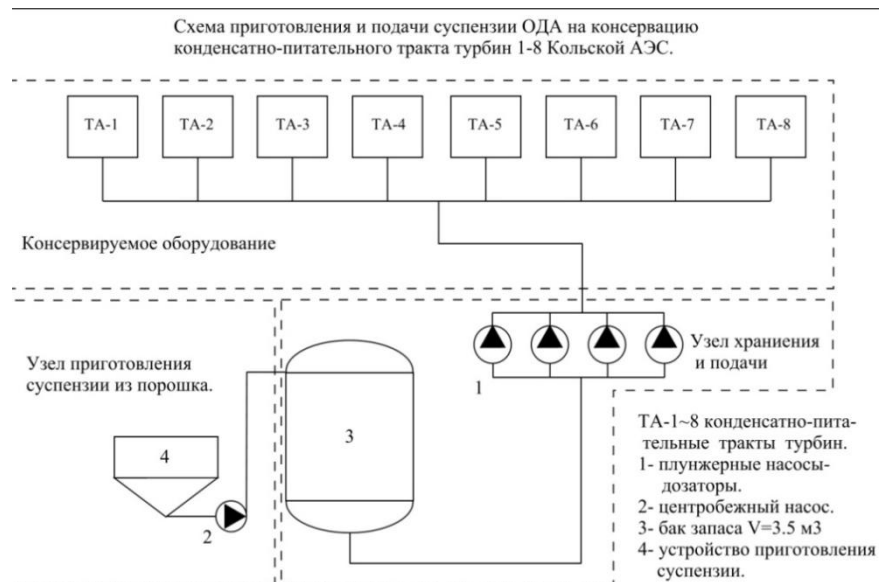
**Относительное
значение
интенсивности
излучения, %**



Волновое число λ , 1/см

**Результаты инфракрасной спектроскопии
для технического реагента ODACON (1) и аналитического ОДА реагента (2)**

Установка по производству водной суспензии ODACON и ее дозирования на всас питательных насосов блоков № 1 - 4 Кольской АЭС



**Принципиальная технологическая
схема установки**



Внешний вид установки

Рассмотрим результаты проведения первой консервации пароводяного контура энергоблока №4 Кольской АЭС в 2003 году. На момент начала дозирования ODACon показатели рабочей среды турбоагрегатов (ТА) данного энергоблока соответствовали действующим нормам водно-химического режима (ВХР)

Питательная вода	ТА-7	ТА-8
	$\chi_n = 0,2$ мкСм/см	$\chi_n = 0,24$ мкСм/см
	pH = 9,0	pH = 9,2
	Fe = 8,0 мкг/кг	Fe = 14,0 мкг/кг
	O ₂ = 4,0 мкг/кг	O ₂ = 8,0 мкг/кг
Основной конденсат	ТА-7	ТА-8
	$\chi_n = 0,12$ мкСм/см	$\chi_n = 0,19$ мкСм/см
	Na = 1 мкг/кг	Na = 1 мкг/кг
	Cu = 2,5 мкг/кг	Cu = 2,5 мкг/кг
	N ₂ H ₄ = 26 мкг/кг	N ₂ H ₄ = 10 мкг/кг

Продувочная вода парогенераторов 4ПГ1-6

	ПГ1	ПГ2	ПГ3	ПГ4	ПГ5	ПГ6
Na (мг/кг)	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Cl (мг/кг)	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
pH (25°C)	8,0	8,4	8,4	8,5	8,3	8,5
χ_n (мкСм/см)	0,7	0,3	0,5	0,4	0,6	0,4

Мощность турбоагрегатов составляла: ТА7 = 186 МВт, ТА8 = 181 МВт.

Общая продолжительность консервации – 240 ч. Расход реагента 100% ODACon – 156 кг.

В течение всего периода проведения работ по консервации вплоть до останова энергоблока №4 контролировалось качество рабочей среды и теплотехнические параметры.

Распределение ODACON к моменту достижения его динамического равновесия на различных участках технологического контура ТА-7 и ТА-8:

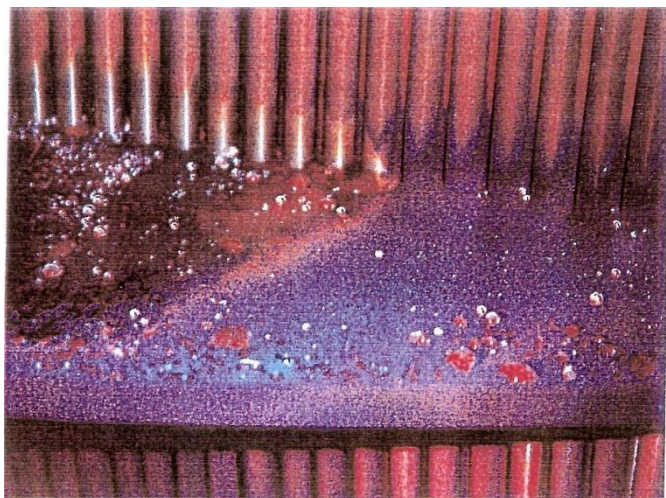
	ТА-7 (мкг/кг)	ТА-8 (мкг/кг)
Питательная вода за ПВД-8	2300	2200
Питательная вода за Д	1300	1150
Основной конденсат за КЭН	2000	2140
Основной конденсат за ПНД-5	1500	1800
Насыщенный пар	1500	1600

В процессе консервации не отмечено отклонений качества воды от требований норм ВХР, в работе установки СВО-5 и приборов автоматического химического контроля.

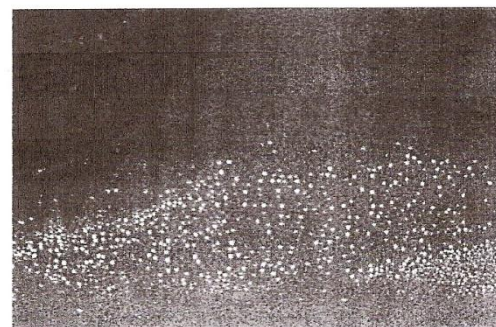
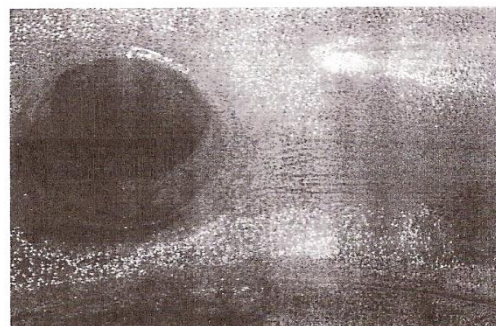
В период проведения консервации оборудования теплотехнические показатели соответствовали нагрузке энергоблока № 4 и находились в требуемых пределах.

По окончании останова энергоблока № 4 произведено вскрытие и осмотр следующего оборудования со стороны второго контура: деаэратор ТА8, сепаратор-пароперегреватель (СПП) ТА8, конденсатосборники 1, 2 ступеней, подогреватель низкого давления 4ПНД4, сепаратосборники СПП, парогенераторы 4ПГЗ, 4ПГ6.

Состояние поверхностей оборудования характеризуется выраженной гидрофобностью и отсутствием следов стояночной коррозии.



Гидрофобная поверхность трубной доски подогревателя низкого давления 4ПНД4



Поверхность корпуса деаэратора ТА-8 (гидрофобная)

Измеренные значения удельной сорбции ODACON на поверхности оборудования второго контура энергоблока №4 Кольской АЭС после консервации

Место отбора проб	Удельная сорбция, мкг/см²
Трубчатка 4ПГЗ в районе горячего коллектора между 1 и 2 дистанционирующими решетками	0,7
Деаэратор ТА8	1,2
СПП ТА8	0,37
Конденсатосборники 1, 2 ступени	2,7-3,1
Сепаратосборники ТА7,8	1,6-1,7
Подогреватель низкого давления 4ПНД4	1,175

Результаты измерений превышают предельное значение сорбции ODACON 0,3мкг/см², обеспечивающее эффективность коррозионной защиты металлов на уровне 70-90%.

Согласно инструкции ВТИ имени Ф.Э.Дзержинского (дополнение к «Методическим указаниям по контролю состояния основного оборудования ТЭС» РД 34.37.306-87) на поверхности СПП ТА8 проведены контрольные испытания коррозионно-защитного эффекта после консервации капельным методом. Сущность метода заключается в нанесении на поверхность металла определенного количества специальных реагентов, интенсифицирующих процессы коррозии. В результате химической реакции изменяется окраска нанесенного раствора. Результаты консервации с применением ODACON-технологии подтверждают эффективную защиту от коррозии, поскольку через 1 ч сохранилась сине-голубой цвет капли, а на окисленной поверхности образца из стали марки 20 окраска капли изменилась от сине-голубой до красновато-желтой в течение 2 - 3 минут.

Данные по распределению ODACON по поверхностям второго контура в период консервации, степень его сорбции поверхностью оборудования, а также результаты внешнего осмотра поверхностей оборудования свидетельствуют об успешной консервации пароводяного контура энергоблока № 4 Кольской АЭС.

При сорбции молекул ODAON на поверхности конструкционных материалов возникает расклинивающее воздействие на ранее образовавшиеся в процессе эксплуатации железоокисные отложения.

После четырех ежегодных консерваций пароводяного контура блока №4 Кольской АЭС количество коррозионных отложений для оmyваемой водой корпуса 4ПГ-3 снизилось на 60-70%, для верхнего пучка трубчатки в зоне горячего коллектора – на 30-40%. Среднее значение удельной загрязненности отложений по точкам контроля трубного пучка составляет 55,5 г/м², что не превышает допустимого нормируемого значения (150 г/м²).

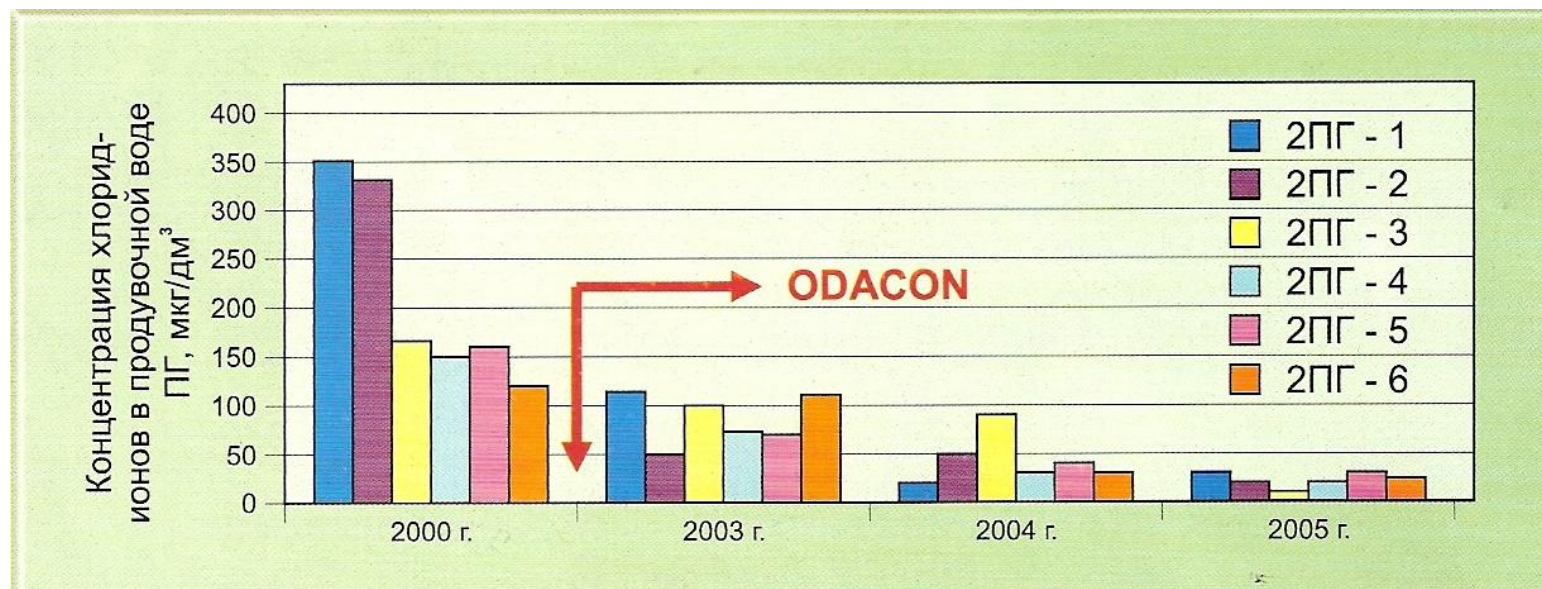
Химический состав (%) отложений с поверхности корпуса и трубного пучка 4ПГ-3 до/после четырех ежегодных консерваций

Место контроля	Потери при прокаливании	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CuO	CaO + MgO
корпус, водная часть	2,8/2,6	14,6/4,0	77/91	2,5/отс.	1,6/1,7
трубчатка	2,5/1,6	8,7/0,6	82/83	5,0/1,3	2,4/3,9

По результатам химического анализа отложений отмечено:

- **хлорид-анионы и другие коррозионно-агрессивные примеси в отложениях практически отсутствуют;**
- **по химическому составу и процентному содержанию компонентов отложения не отличаются от обычно присутствующих на поверхностях теплообмена ПГ. Зафиксировано снижение меди и кремневки в отложениях;**
- **органическая составляющая в отложениях на трубчатке минимальна, соли жесткости, в среднем, составили 0,7% от общего солесодержания компонентов.**

Анализ результатов измерений выноса солей в котловую воду парогенераторов за счет десорбции агрессивных анионов из отложений и шлама в процессе останова энергоблока свидетельствует о том, что регулярное применение ODACON-технологии консервации снижает накопление коррозионно-опасных примесей внутри ПГ.



Это обстоятельство является убедительным доказательством того, что ежегодное проведение консерваций пароводяного контура блоков Кольской АЭС по ODACON-технологии обеспечивает более предпочтительное состояние теплообменных поверхностей с точки зрения их загрязненности и коррозионного состояния.

За счет регулярного применения ODACON-технологии консервации пароводяного контура энергоблоков Кольской АЭС обеспечивается постепенное снижение необходимого для консервации количества ODACON (в 2,5-3 раза), а также продолжительности выхода показателей качества рабочей среды на нормируемые уровни при пуске блоков. Кроме этого отмечается и снижение концентрации продуктов коррозии, поступающих в парогенераторы в эксплуатационном режиме.

Анализ многолетнего опыта применения технологии ODACON для консервации на энергоблоках №1-4 Кольской АЭС подтверждает ее высокую эффективность для повышения надежности и ресурса оборудования и трубопроводов вторых контуров.

В качестве примера использования консервации энергоблоков ТЭС по ОДА-технологии рассмотрим результаты консервации пароводяного контура энергоблока №3 ТЭС «Варна» (Болгария) (мощность 210 МВт с котлом ТП-100А и паровой турбиной К-210/12,8-1).

Эти данные представляют несомненный интерес, поскольку результаты работы были подвергнуты анализу несколькими независимыми экспертными организациями Болгарии.

При консервации энергетического оборудования энергоблока №3 ТЭС «Варна» общий расход 10%-ой эмульсии ОДА составил 800 кг.

Непосредственно после завершения консервации был проведен визуальный осмотр следующего оборудования энергоблока: деаэраторы 3А и 3Б, дренажный бак, конденсатор №2 по паровой части.

Внутренние поверхности деаэратора, конденсатора и выхлопного патрубка ЦНД турбины гидрофобны. Следы коррозионного повреждения их поверхностей не были обнаружены.

Были произведены вырезки образцов труб из котла и конденсатора для определения удельной сорбции ОДА и проведения электрохимических исследований.

Место вырезки	Удельная сорбция ОДА, мкг/см ²
Труба заднего экрана	1,480
Труба водяного экономайзера	5,714
Труба водяного экономайзера	1,515
Труба пароперегревателя	1,700
Труба конденсатора	0,664

Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что удельная сорбция на исследованных образцах превышает минимально необходимую величину (0,3 мкг/см²). При этом обеспечивается коррозионная защита поверхности металла в стояночном режиме на уровне 70-90%.

Эффективность защитного действия ODACON также можно оценить посредством электрохимических измерений. Указанные опыты проводились фирмой «ХЗ-Консулт» (София, Болгария), выполнявшей функцию независимого эксперта.

Результаты хронопотенциометрических и потенциодинамических исследований образцов-свидетелей, установленных в деаэраторе до и после консервации

Подверженная шлифовке окисленная поверхность образцов	$E_{ст}$, мВ	$i_{кор}$, А/см ²	K , г/(м ² ч)	Z , %
Эталон неконсервированный	-461	7,9E-05	0,83	-
Законсервированный образец, установленный:				
- в паровом пространстве	-73	5,6E-06	0,06	92,89
- в водном пространстве	- 86	2,2E-05	0,23	71,65

$E_{ст}$ – статический потенциал;

$i_{кор}$ – плотность тока;

K – расчетная скорость коррозии;

Z – коэффициент коррозионной защиты.

Результаты хронопотенциометрических и потенциодинамических исследований образцов-свидетелей, установленных в котле и конденсаторе до и после консервации оборудования блока №3 ТЭС «Варна»

Образцы	Не прошедшие консервацию			После консервации			Z, %
	$E_{ст}$, мВ	$i_{кор}$, А/см ²	K, г/см ² ч	$E_{ст}$, мВ	$i_{кор}$, А/см ²	K, г/см ² ч	
Испарительная поверхность	-44	2,5E-06	0,02611	32	4.5E-07	0,0047	82
Пароперегреватель	-525	8,9E-08	0,00093	-212	7.9E-09	8.25E-05	91,1
Конденсатор	-8	3,16E-07	0,0033	50	1.0E-09	1,044	99,7

Приведенные результаты свидетельствуют о том, что обработанные по ОДА-технологии поверхности оборудования имеют большое значение стационарного потенциала, что свидетельствует об облагораживании этих поверхностей. Достигнуты высокие значения коэффициентов коррозионной защиты

Количество отложений на поверхностях труб котла энергоблока №2 ТЭС «Варна» до и после консервации

Поверхность нагрева (образцы)	Количество отложений, г/см ²		Степень снижения количества отложений
	до консервации	после консервации	
Экономайзер	179,0	90,9	49,2
Экранная труба	370,7	226,9	38,8
Пароперегреватель	153,3	105,3	31,3

Анализ образцов труб котла, вырезанных из различных его участков до и после консервации, позволил сделать заключение о частичной отмывке поверхностей труб от отложений. Приведенные результаты по консервации оборудования блока №3 ТЭС «Варна» свидетельствуют о высокой эффективности применения ОДА-технологии, удобстве ее реализации.

Спасибо за внимание