

# КОНСЕРВАЦИЯ КОНДЕНСАТНО-ПИТАТЕЛЬНОГО ТРАКТА И ПАРОГЕНЕРАТОРОВ ЭНЕРГБЛОКОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОКТАДЕЦИЛАМИНА

**Е.Б. Громов**

*“Балаковатомтехэнерго”, г. Балаково*



Рассматриваются результаты разработки, усовершенствования и опробования технологии консервации теплоэнергетического оборудования с применением пленкообразующих аминов, и в частности октадециламина (ОДА).

Простои энергоблоков, связанные с ремонтными работами, профилактикой, осуществлением технологического перевооружения и реконструкцией, требуют повышенного внимания к защите оборудования пароводяного контура АЭС от стояночной коррозии.

В соответствии с требованиями «Временных норм (Водно-химический режим II-го контура АЭС с реакторами типа ВВЭР. Нормы качества рабочей среды и средства их обеспечения)» перед остановом энергоблока на срок более трех суток для консервации оборудования в течение 24–48 часов должна осуществляться обработка рабочей среды гидразин-гидратом с поддержанием концентрации последнего в питательной воде не менее 500 мкг/кг, но не более 1000 мкг/кг.

В настоящее время практически отсутствуют способы эффективной консервации тракта энергоблока в целом, элементы которого изготовлены из различных конструкционных материалов. Следует также принимать во внимание, что часть химических реагентов токсична, вследствие чего возникают трудности экологического характера как в при консервации, так и расконсервации оборудования.

Исследования, проведенные рядом коллективов, и анализ литературных данных [1,2] показали, что наиболее подходящим из пленкообразующих аминов является октадециламин –  $C_{18}H_{37}NH_2$ . ОДА относится к классу высших алифатических аминов и является подщелачивающим соединением из углеводов с концевой катионоактивной группой.

ОДА представляет собой белое воскообразное вещество с температурой плавления 54,5°C. Вследствие длинной углеродной цепи ОДА слабо растворяется в воде ( $C_{ОДА}=1$  мг/дм<sup>3</sup> при  $T=30^\circ C$ ), но при повышенной температуре и интенсивном перемешивании образует устойчивую эмульсию.

Механизм защитного антикоррозионного воздействия ОДА основан на формирова-

нии молекулярного слоя на поверхности металла вследствие ориентированной адсорбции молекул ОДА, обладающих значительным дипольным моментом. Этот процесс начинается с физической адсорбции, которая переходит в хемосорбцию, причем с повышением температуры этот процесс ускоряется.

Проведенные в МЭИ, ВНИИАМ и Институте изотопов (Германия) экспериментальные исследования [1, 2] удельной сорбции ОДА на различных металлах и в разных средах в диапазоне температур  $T=50-250^{\circ}\text{C}$  показали (рис.1), что при одинаковой концентрации ОДА в водном растворе количество адсорбированного ОДА на углеродистой стали в 4-5 раза выше, чем на аустенитной.

В случае осуществления консервации в паровой среде основным показателем защитного эффекта является уровень адсорбции ОДА на поверхности оборудования, который определяется по результатам анализа химсливов с контрольных поверхностей. Как показали исследования, уровень минимальной адсорбции ОДА на поверхности оборудования должен составлять не менее  $0,3 \text{ мкг/см}^2$ .

Образованная при температуре  $150^{\circ}\text{C}$  пленка ОДА приблизительно на 90% связана с поверхностью металла хемосорбцией и с трудом удаляется химическими растворителями. Наиболее стойкая пленка ОДА создается при обработке в условиях температуры около  $250^{\circ}\text{C}$  и выше.

Объективной характеристикой коррозионно-защитного действия пленки ОДА может быть степень защиты, которая показывает снижение скорости коррозии в результате образования защитной пленки ОДА.

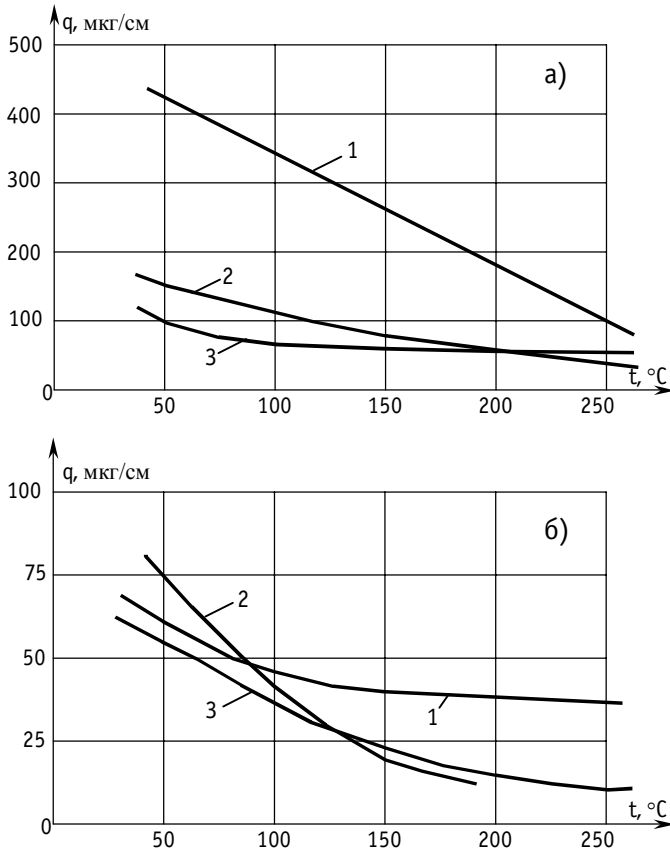


Рис. 1. Адсорбция ОДА на поверхностях различных конструкционных материалов в жидкости а) и паре б) при  $C_{\text{ОДА}} = 100 \text{ мг/кг}$ ,  $\text{pH}=8,4$  и  $t = 20 \text{ ч}$ : 1 – сталь 20; 2 – аустенитная сталь; 3 – турбинная сталь

Степень защиты может быть рассчитана по данным гравиметрических и электрохимических исследований, %:

$$S_m = \left( 1 - \frac{\Delta m_{\text{ОДА}}}{\Delta m_0} \right) 100,$$

$$S_i = \left( 1 - \frac{i_{\text{ОДА}}}{i_0} \right) 100,$$

где  $\Delta m_{\text{ОДА}}$ ,  $\Delta m_0$  – потеря массы обработанных и необработанных ОДА образцов;  $i_{\text{ОДА}}$ ,  $i_0$  – плотность тока обработанной и не обработанной ОДА поверхности образцов в активной области потенциалов.

Известно, что применительно к условиям стояночной коррозии оборудования степень защиты должна составлять не менее 80%. Полученные в ходе экспериментов значения  $S_m$ ,  $S_i$  выше указанной величины (от 91 до 99%) и поэтому можно сделать вывод о высокой эффективности использования ОДА для защиты оборудования от стояночной коррозии.

На основании проведенных исследований была разработана рабочая программа консервации оборудования II контура третьего блока Балаковской АЭС. Консервация проводилась в период с 15 по 21.05.92. Дозирование эмульсии ОДА осуществлялось на всас бустерного насоса в течение ~160 часов одновременно с дозированием гидразин-гидрата.

Концентрация ОДА в начальный период поддерживалась в диапазоне 1,6-2,6 мг/кг, на завершающем этапе поднималась до 4,6-5,2 мг/кг.

Анализ данных по продуктам коррозии показал, что заметно выраженного “моющего” эффекта в процессе консервации не наблюдалось. Концентрация железа в питательной воде незначительно повышалась первые три дня с начала консервации, затем упала до величин, не превышающих 10 мкг/кг. Наблюдался эффект выноса продуктов коррозии с паром парогенератора: концентрация железа в питательной воде и паре парогенератора была приблизительно одинакова. Эффективность очистки турбинного конденсата от продуктов коррозии на электромагнитных фильтрах в ходе консервации можно оценивать в 15-30%, ФСД – в 30-70% по железу.

Можно отметить, что в целом показатели водно-химического режима при проведении консервации существенно не изменялись.

После останова блока проведен визуальный осмотр оборудования и отбор проб адсорбированного ОДА. Осмотр оборудования показал, что основная часть поверхностей парового и питательного трактов покрыта слоем плотных, хорошо сцепленных с металлом отложений.

Результаты определения величин сорбции ОДА приведены в табл. 1. Полученные значения удельной сорбции существенно превышают значения удельной сорбции 0,3 мкг/см<sup>2</sup>, теоретически рассчитанные для мономолекулярной пленки ОДА на поверхности гладкого (шлифованного) образца. Это свидетельствует о том, что образовавшиеся пленки являются полимолекулярными и обеспечивают хороший защитный эффект.

Одновременно с режимом консервации теплоэнергетического оборудования вторых контуров АЭС с реакторами типа ВВЭР проводились испытания нового водно-химического режима с использованием микродобавок ОДА на 3 блоке АЭС им. Б. Лойшнера (с 1986 г. до момента останова АЭС) и на 1 блоке Кольской АЭС.

В 1993 г. на 1 блоке Кольской АЭС после двух лет его эксплуатации в ОДА-гидразинном режиме произошло недопустимое отклонение в режиме работы парогенераторов. Выяснение причин данного явления позволило прийти к заключению, что в качестве корректирующего реагента был использован ОДА предельно низкого качества.

Таблица 1

**Результаты химсливов и визуального осмотра отдельных элементов после консервации ОДА**

Место отбора пробы	Удельная сорбция ОДА, мкг/см <sup>2</sup>	Степень гидрофобности поверхностей
Вход ЦНД-2	2,6	Хорошая
VI отбор ЦНД-2 (лопаточный аппарат)	2,1	Хорошая
VII отбор ЦНД-2 (лопаточный аппарат)	1,8	Слабо выражена
СПП (корпус)	2,3	Хорошая
Водяная камера ПНД-4	198,0	Ярко выражена
Сливные насосы ПНД-3	283,0	Ярко выражена
Паровая часть ПГ-1	2,3	Удовлетворительная
Водяная часть ПГ-1	7,1	Удовлетворительная
Трубчатка ПГ-1 (горячий коллектор)	4,7	Удовлетворительная

Одновременно был выявлен ряд недостатков самой технологии, выражающих- ся в отсутствии входного контроля качества ОДА, несовершенстве системы дози- рования и контроля за содержанием ОДА в пароводяном контуре.

До устранения указанных замечаний все работы с использованием ОДА-технологии на АЭС были временно приостановлены ГП АЭН.

В результате проведенных дополнительных исследований вышеуказанные замеча- ния устранены: организовано производство реагента ОДА высокой степени очистки, имеющего европейский сертификат качества (DIN ISO 9001:1994); отработана техноло- гия получения водной эмульсии ОДА, позволяющая осуществлять дозирование реаген- та в холодном состоянии; создана система автоматического контроля его концентрации [3, 4].

При активной поддержке РАО ЕЭС России и корпорации ЕЭЭК технология консерва- ции с использованием ОДА внедрена на более чем 200 объектах тепловой энергетики в России и за рубежом. Выпущены «Методические указания по консервации теплоэнер- гетического оборудования с применением пленкообразующих аминов (дополнение к РД 34.20.591-97)». В соответствии с этим документом и с рабочей программой, разрабо- танной Балаковским филиалом Атомтехэнерго и ВНИИАМ была проведена опытно-про- мышленная консервация блока №1 Заинской ГРЭС с целью снижения коррозионных процессов оборудования энергоблока на период ремонта и стоянки блока в резерве. Интенсивность коррозионных процессов на оборудовании подавлялась путем нанесе- ния (формирования) защитного слоя ОДА на внутренние поверхности оборудования, подвергающего стояночной коррозии.

Блок №1 стоял в резерве один месяц и был растоплен для консервации 17.01.2000.

Программа консервации включала в себя три этапа. Первый этап - проведение кон- сервации конденсатно-питательного и парового трактов энергоблока. Длительность этапа 25 часов, концентрация ОДА в питательной воде 2-3 мг/кг, температура 320-340°C. Второй этап - по той же схеме в течение 22,5 часа с концентрацией ОДА в питательной воде 3-5 мг/кг. Третий этап - промывка водным раствором с концентрацией ОДА на уровне 2-3 мг/кг помимо турбины по контуру - котел - РОУ - конденсатор - деаэратор - котел - не проводился в виду того, что на обработанных поверхностях уже образова- лась достаточная защитная пленка.

После выполнения работ по консервации блока производилась дополнительная операция по консервации проточной части турбины (ЦВД, ЦСД, ЦНД).

Температура пара, содержание ОДА и показатели ВХР приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Качество водно-химического режима в период консервации блока №1 Заинской ГРЭС**

Время	Температура острого пара, °С	Конденсат		Питательная вода			Пар		
		Fe, мкг/кг	ОДА, мг/кг	pH	Fe, мкг/кг	ОДА, мг/кг	pH	Fe, мкг/кг	ОДА, мг/кг
0 <sup>30</sup>	315			9,40			9,25		
2 <sup>00</sup>	310	13	0,21		24	0,25		47	2,20
4 <sup>00</sup>	310		0,23	9,40		0,42	9,40		0,62
6 <sup>40</sup>	310	23	0,25	9,35		0,81	9,25	50	1,56
8 <sup>30</sup>	310			9,66			9,37		
9 <sup>30</sup>				9,33			9,30		
10 <sup>30</sup>	325	30	0,74	9,35	10	2,57	9,32	57	4,52
12 <sup>30</sup>	325	30		9,35			9,30		
14 <sup>30</sup>	315	63	0,93	9,40	37	2,93	9,45	84	5,00
16 <sup>00</sup>	315			9,40			9,40		
18 <sup>00</sup>	320	110	1,61	9,45	63	4,15	9,40	133	5,77
20 <sup>00</sup>	312			9,40			9,40		
22 <sup>00</sup>	313	65	1,32	9,35	46	2,27	9,35	79	3,77
0 <sup>30</sup>				9,30			9,15		

Через четыре месяца, а именно, 16 мая 2000 г. был произведен осмотр оборудования блока №1 после консервации ОДА. Количественные результаты по величине удельной сорбции ОДА по различным химсмывам и вырезанным образцам с котлов приведены в табл. 3.

По всем представленным образцам из котлов 1 блока и химсмывам величина удельной сорбции ОДА соответствует критерию 0,3 мкг/см<sup>2</sup>.

Отклонение от норм ВХР в период консервации блока №1 не наблюдалось.

Таким образом, разработана, усовершенствована и опробована технология консервации теплоэнергетического оборудования с применением пленкообразующих аминов и, в частности, ОДА - октадециламина. Проведение представленной опытно-промышленной консервации и ряд других испытаний позволили принять техническое решение, ут-

Таблица 3

**Концентрация ОДА на поверхности оборудования блока №1**

Место отбора пробы	Концентрация ОДА, мкг/см <sup>2</sup>	Гидрофобность
Деаэратор 1А водная часть	0,30	Хорошая
Деаэратор 1А часть	0,81	Хорошая
Патрубок ЦСД	0,31	Хорошая
ЦНД, 24-я ступень	0,33	Хорошая
ЦСД, 23-я ступень	0,38	Хорошая
Конденсатор 1Б, люк	0,91	Хорошая
КПП-1А	0,30	Слабая
ВЭ-1Б	0,42	Отличная
ВЭ-1А	0,52	Отличная
ВРЧ II-1А	0,29	Слабая
СРЧ - 1А	0,32	Удовлетворительная
НРЧ-1Б	0,41	Отличная

вержденное техническим директором концерна “Росэнергоатом”, в котором отмечается целесообразность внедрения метода консервации с применением ОДА оборудования второго контура АЭС с ВВЭР перед остановом энергоблоков в ремонт. Такая предостановочная консервация проведена на Кольской АЭС на оборудовании второго контура АЭС с ВВЭР-1000.

### **Литература**

1. Адсорбция октадециламина на металлических поверхностях/*И.Я. Дубровский, Л.М. Баталина, Ю.М. Третьяков и др.*: Сб. трудов “Технология энергоносителей”. - М.: МЭИ, 1989. - С. 34-41.
2. *Филипов Г.А., Салтанов Г.А., Кукушкин А.М.* Гидродинамика и тепломассообмен в присутствии ПАВ. – М.: Энергоатомиздат, 1988. - С.182.
3. А/с Способ определения концентрации поверхностно-активного вещества/*А.Ф. Дерендовский, В.П. Ницкевич, А.М. Кукушкин и др.*//Заявлено 16.11.89, №4758512/25.
4. *Поваров О.А., Томаров Г.В., Семенов В.Н.* Эффективный метод консервации энергетического оборудования//Энергоснабжение и водоподготовка. - 1998. - №1.

Поступила в редакцию 18.06.2001

## ABSTRACTS OF THE PAPERS

### УДК 681.5:621.165

*Electronic System of Erosion Forecasting of Turbine Rotor Blade of Nuclear Power Plants \ K.V. Dergachev; Editorial board of journal "Izvestia vissikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). - Obninsk, 2001. - 10 pages, 4 illustrations, 1 table. - References - 9 titles.*

The structure, functional scheme and characteristics of calculating complex intended for prediction of erosion of NPP turbine rotor blade are considered in this paper.

### УДК 681.332

*Designing of Ultrasonic Defectoscop SK26 Core on the basis of Multiprocessor System \ S.V. Michailov; Editorial board of journal "Izvestia vissikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). - Obninsk, 2001. - 6 pages, 1 illustration, 4 tables. - References - 5 titles*

Method of the ultrasonic defectoscop SK26 core designing by way of multiprocessor system on the basis of digital signal processors ADSP-21XX has been presented. Local bus classification of multiprocessor system has been proposed.

### УДК 621.039.586 : 536.42

*Calculation Model of Pin Meltdown subject to Molten Cladding Relocation in BN Reactor Core under beyond Design Accident / G.N. Vlasichev; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering). - Obninsk, 2001. - 11 pages, 6 illustrations, 1 table. - References, 10 titles.*

The technique of account of emergency process of pin heating and melting is developed in view of molten cladding relocation at the termination of coolant flow in fuel assembly of the fast reactor with sodium coolant. Meltdown times of pin cladding and fuel on height of separate fuel pin, complete or partial blocking of the channel by a freezing material, and also repeated meltdown of the solidified layer are determined as a result of calculations. Testing of the developed programs of account of fuel pin melting and molten cladding moving TRAMS-TWEL and MOTE according to numerical results of techniques similar used in given programs is executed. The accounts of fuel pin cladding melting, cladding melt moving and freezing in not heated sections, taking place above and below active part of FFTF pin, and also in the most active part are executed. As a whole, received as a result of accounts a configuration, the lengths of layers from the solidified steel are higher and below heated site satisfactorily correspond to the data of R-5 experiment on TREAT reactor.

### УДК 621.311:621.039

*Temporary Closing-down of Condensate-feed Channel and Steam Generators of Power Units with the using of Octadecylamine \ E.B. Gromov; Editorial board of journal "Izvestia vissikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). - Obninsk, 2001. - 6 pages, 1 illustration, 3 tables. - References - 4 titles.*

Results of development, improvement and assay of technology of the temporary closing-down of heat-and-power engineering equipment with using of film-forming amines and, in particular, octadecylamine

### УДК 621.039.519

*Measurement of radionuclide yields produced in 2.6 GeV proton irradiated nat-W \ Yu.E. Titarenko, E.I. Karpikhin, V.F. Batyaev, A.B. Koldobsky, B.M. Zhivun, R.D. Mulambetov, C.V. Kvasova, D.V. Fischenko; Editorial board of journal "Izvestia vissikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). - Obninsk, 2001. - 13 pages, 2 illustrations, 2 table. - References - 23 titles.*

Radionuclide yields are measured in natural tungsten thin target irradiated with 2.6 GeV protons. The measurements were carried out using direct gamma-spectrometry of samples irradiated via U10 ITEP synchrotron. In total, 129 yields were defined, including 10 independent, 9 independent