

17.	BR-5 Primary Circuit Decontamination	I. A. Efimov M. P. Nikulin A. P. Smirnov-Averin B. S. Tymosch V. S. Schereschkov	UNION OF SOVIET SOCIALIST REPUBLICS
-----	---	--	---

#### ДЕЗАКТИВАЦИЯ ПЕРВОГО КОНТУРА РЕАКТОРА БР-5.

И.А.Ефимов, М.П.Никулин, А.П.Смирнов-Аверин,  
Б.С.Тымош, В.С.Шерешков.

#### А Н Н О Т А Ц И Я

В докладе приводится методика, технология и результаты проведенной в 1971 году пароводяной и кислотной дезактивации I контура реактора БР-5. Приводятся результаты измерений активности продуктов деления и мощности дозы гамма-излучения на трубопроводах и оборудовании первого контура реактора до дезактивации и в процессе проведения дезактивации. Изложена технология регенерации холодной ловушки окислов I контура.

#### В В Е Д Е Н И Е

Реактор БР-5 был остановлен 1 мая 1971 года. К этому времени выгорание урана в топливных элементах из монокарбида урана, загруженных в реактор в 1965 г., достигло 6,16%, что более чем в два раза превышает проектное. При проверках герметичности оболочек твэл, которые проводились в 1969-1971 гг. обнаружено, что у 55 рабочих пакетов из 128 имелись тепловыделяющие элементы с дефектными оболочками. Пакеты с негерметичными тепловыделяющими элементами после их обнаружения выгружались из активной зоны, однако при дальнейшей работе реактора появились новые дефекты в твэл и после остановки реактора в мае 1971 года было обнаружено 10 пакетов с негерметичными тепловыделяющими элементами. При работе установки с тепловыделяющими элементами, потерявшими герметичность, наблюдался выход продуктов деления в теплоноситель первого контура.

Как было установлено ранее /1/, значительная часть  $Cs^{137}$ , практически весь  $Zr^{95} + Nb^{95}$  и  $Ba^{140} + La^{140}$  из натрия высаживаются на стенки трубопроводов и оборудования I контура.

В таблице I приведены результаты измерений активности продуктов деления в I контуре реактора БР-5 после его остановки, а также активности продуктов деления после дезактивации контура.

В таблице II приведены результаты измерений мощности дозы гамма-излучения на поверхности теплоизоляции трубопроводов и оборудования I контура. Как видно из таблицы II, через три месяца после остановки реактора мощность дозы гамма-излучения на поверхности трубопроводов составляла  $250-400 \frac{МКР}{с}$ , а на поверхности оборудования достигала  $3000 \frac{МКР}{с}$ . Большая активность фланцев насосов обуславливается  $Cs^{137}$ , обладающим высокой летучестью из натрия и склонностью высаживаться на относительно холодных поверхностях в газовой полости контура. Слив натрия из первого контура в сливной бак привел к некоторому снижению гамма-фона на поверхности трубопроводов (в среднем в 1,5 - 3 раза) за счет удаления  $N_a^{22}$  и  $Cs^{137}$ .

Активность насосов уменьшилась лишь на 5-25%, т.к. она обусловлена активностью цезия  $-137$ , высадившегося на поверхностях в газовой полости насосов.

Спектрометрические измерения образцов трубопроводов проведенные в августе 1971 года (после распада  $Ba^{140} + La^{140}$ ) показали, что гамма-активность поверхностей трубопроводов обуславливалась продуктами деления  $Zr^{95} + Nb^{95}$ ,  $Cs^{137}$ , а также продуктами коррозии  $Co^{60}$ ,  $Co^{58}$  и  $Mn^{54}$ .

Было также установлено наличие альфа-активности на внутренних стенках трубопроводов и оборудования первого контура.

В связи с тем, что при реконструкции установки был намечен большой объем работ на первом контуре (замена насосов, установка защитных кожухов на трубы, ликвидация байпасных участков и т.д.) было принято решение о проведении дезактивации первого контура.

Таблица I  
А. Активность продуктов деления в I контуре реактора БР-5 к моменту остановки его на реконструкцию (I.5.1971 г.)

	Единица измерения:	$^{22}\text{Na}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{95}\text{Zr}$	$^{95}\text{Nb}$	$^{140}\text{Ba}$	$^{140}\text{La}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{54}\text{Mn}$	$^{58}\text{Co}$	$^{60}\text{Co}$
В натрии	$\frac{\text{мкюри}}{\text{см}^3}$	0,72	12,9	0,1		следы		0,06	0,2		
На стенках трубопроводов	$\frac{\text{мкюри}}{\text{см}^2}$		0,1	0,4		3,2		$\geq 0,5$	$> 5$	$> 0,6$	

Б. Активность продуктов деления на стенках I контура реактора БР-5 после дезактивации (приведенная к I.5.1971 г.)

		Единица измерен.	$^{137}\text{Cs}$			$^{54}\text{Mn}$	$^{58}\text{Co}$	$^{60}\text{Co}$
Горячая часть Iк	Выходной коллект. реактора		0,04			0,40	5,36	0,55
Холодн. часть I контура	На выходе из насоса I контура	$\frac{\text{мкюри}}{\text{см}^2}$	0,014			0,16	1,8	0,08
	На напорн. линии насоса L=3м	-"-	0,015			1,1	0,47	0,04

Таблица II

Измерение мощности дозы гамма излучения (мкР/с) на поверхности трубопроводов и оборудования I контура при проведении дезактивации контура.

	I нитка I контура							II нитка I контура						
	Большая лира	Малая лира	Напорный трубопровод	Теплообменник	Бак насоса № I	Бак насоса № I	Бак насоса № I	Большая лира	Малая лира	Напорный трубопровод	Теплообменник	Бак насоса № 2	Бак насоса № 2	Бак насоса № 2
	ж	ж	ж	ж	(Na) : ху	Ag	ж	ж	ж	ж	ж	(Na) : ху	Ag	ж
Контур заполнен натрием	250	260	290	250	500	650	3200	390	390	300	800	1200	3000	3000
Натрий сдrenирован	80	130	75	160	430	600	3000	300	190	235	600	1200	3200	3000
После паровой промывки	46	62	70	55	170	200	600	70	34	65	120	200	320	1000
После водяной промывки	37	34	32	43	60	60	600	37	27	38	50	95	100	340
После I кислотного цикла	21	26	18	31	42	50	350	25	18	17	29	40	48	120
После 3 кислотного цикла	11	12	14	17	18	25	300	13	10	18	10	20	23	110
После 4 кислотного цикла	7	6	4	10	9	13	210	18	13	21	9	25	27	170
После 5 кислотного цикла	13	15	10	24	18	22	500	14	10	15	18	27	25	100
После 6 кислотного и двух циклов водяной промывки	12	14	8	21	15	17	370	16	11	15	22	24	19	70
После 8 цикла водяной промывки	12	13	16	18	14	16	210	22	12	18	27	20	21	60

ж - усреднено по двум или трем точкам данного трубопровода (или оборудования)

## 1. ПОДГОТОВКА ПЕРВОГО КОНТУРА К ДЕЗАКТИВАЦИИ.

Для отработки методики дезактивации первого контура из линий пробоотбора натрия были вырезаны образцы труб, на которых было проведено влияние различных способов отмывки. Образцы отмывались паром и водой, обрабатывались 0,3% водным раствором  $KMnO_4$ , 1% раствором щавелевой кислоты и 3% раствором азотной кислоты. Во всех вариантах было установлено, что пароводяная обработка практически полностью снимает цезиевую активность вместе с остатками натрия. При трехкратной обработке образцов перманганатом калия и щавелевой кислотой с добавкой в нее 1% раствора перекиси водорода (для исключения возможности осаждения оксалатов железа) коэффициент дезактивации альфа-активности составлял при этом 4-43. Несмотря на то, что при этих опытах было установлено, что обработка азотной кислотой дает дополнительный эффект очистки, применение её для дезактивации первого контура не было рекомендовано. Это было связано с неплотностью арматуры, отсекающей центральную трубу от I контура и возможностью в связи с этим частичного растворения никелевой корзинки центральной трубы, содержащей 0,005% кобальта. Последующее отложение радиоактивного кобальта в I контуре могло бы существенно ухудшить радиационную обстановку. Проверка растворимости никелевых образцов в 5% азотной кислоте показала, что скорость растворения при 25°C составила  $15 \frac{г}{м^2 \cdot час}$ , а при 90°C -  $225 \frac{г}{м^2 \cdot час}$ .

По результатам проведенных исследований на образцах, вырезанных из I контура, а также исходя из опыта дезактивации, осуществленного на установке БР-5 в 1961 г. [ I ] была применена методика пароводяной отмывки I контура и дезактивации с использованием растворов щавелевой кислоты и

марганцовокислого калия. Перед дезактивацией контура пакеты активной зоны реактора были выгружены и заменены хостями, а натрий сдренирован в сливной бак. Для полноты слива натрия дренажные линии были продуты аргоном. Затем натрий из сливного бака был передавлен в специальную емкость - хранилище радиоактивного натрия - бак могильник, а недренируемые участки контура (система индикации-фильтрации, спектрометрические участки, линии пробоотбора) были отсечены от первого контура вентилями заморожены и отрезаны.)

## 2. ПАРОВОДЯНАЯ ОБРАБОТКА СЛИВНОГО БАКА И ПЕРВОГО КОНТУРА

В первую очередь пароводяной обработке был подвергнут сливной бак. Отмывка от натрия сливного бака позволяла в дальнейшем при дезактивации первого контура использовать его как мерную емкость для приготовления растворов. Подача пара в сливной бак осуществлялась снизу, отвод продуктов взаимодействия пара с натрием - через патрубок в верхней части бака - см. схему рис.1.

После выдавливания натрия из сливного бака в бак могильник в сливном баке осталось ~ 10 литров натрия (общий объем бака  $2,9 м^3$ ). Сливной бак перед подачей пара был трижды продут аргоном и разогрет до температуры 200°C. Для паровой обработки сливного бака использовался пар давлением 1,8 - 1,9 атм и температурой 120°C. Паровая обработка сливного бака продолжалась 5,5 часов, через сливной бак было пропущено около 2 т. пара. В результате проведенной обработки мощность дозы гамма-излучения на поверхности бака снизилась в 4 + 5 раз. Никаких хлопков или ударов при подаче пара в бак и в процессе обработки не наблюдалось. Максимальная температура

в баке при реакции пара с натрием достигала  $300^{\circ}\text{C}$ , установившаяся температура реакции -  $160^{\circ}\text{C}$ . Было отмечено, что наиболее интенсивное снижение гамма-активности началось после 5-ти часовой обработки паром.

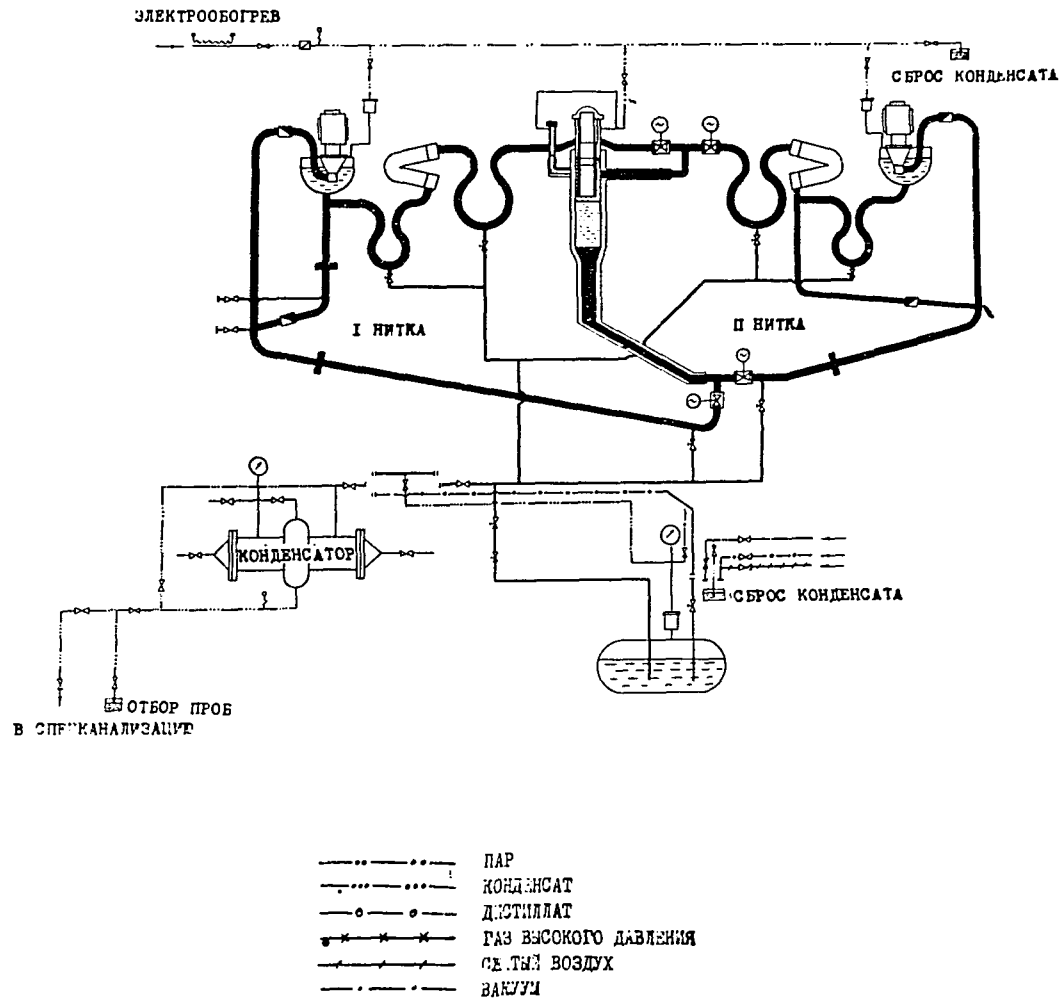


РИС.1. Технологическая схема первого контура при дезактивации.

Следующий этап дезактивации состоял в паровой обработке трубопроводов и оборудования первого контура и центральной трубы (объем  $1,75 \text{ м}^3$ ). Для того, чтобы поток пара проходил по всем коммуникациям контура, обработка его осуществлялась раздельно по ниткам и центральной трубе. Подача пара была организована к верхним точкам первого контура: в газовые линии баков циркуляционных насосов и центральной трубы реактора. В нижней точке контур подсоединялся к специальному теплообменнику для конденсации продуктов взаимодействия пара с натрием перед сбросом в сборники (монжуса) спецканализации. Пар давлением  $1,8 - 1,9$  ати и температурой  $130^{\circ}\text{C}$  проходил по коммуникациям контура, взаимодействуя с остатками натрия, конденсировался и сбрасывался в монжус спецканализации. На линии сброса имелся отвод с вентилем для отбора проб конденсата, которые брались при каждом цикле промывки. Для предотвращения повреждения обмоток электродвигателей циркуляционных насосов пар подавался непосредственно в баки насосов, а в кожухах электродвигателей поддерживалось давление азота на  $0,1$  ати выше, чем давление подаваемого пара. Несмотря на большую разветвленность коммуникаций контура, наличие байпасных линий и тупиковых участков, никаких хлопков или ударов при подаче пара в контур не наблюдалось. В общей сложности через первый контур и центральную трубу реактора было пропущено около  $5 \text{ т}$  пара в течение  $25$  часов. Паровая обработка первого контура снизила мощность дозы гамма-излучения на трубопроводах в  $1,7 + 4,5$  раза и на теплообменниках и насосах в  $3,3 + 6$  раз (см. табл. П). При этом активность  $\text{CS}^{137}$  на трубопроводе большей дыры I нитки контура (рис.2, поз. I) снизилась лишь на  $30\%$  (На трубопроводе большой дыры I нитки

проводились дополнительные измерения активности продуктов деления и переноса масс с помощью сцинтиляционного гамма-спектрометра). Активность остальных изотопов на внутренней поверхности трубопровода большой лиры I нитки в результате паровой обработки в течение 4-х часов снизилась не более, чем на 50%. Гамма-активность же проб из сливаемого конденсата была максимальной (см.табл.Ш) и определялась в основном изотопом  $CS^{137}$ .

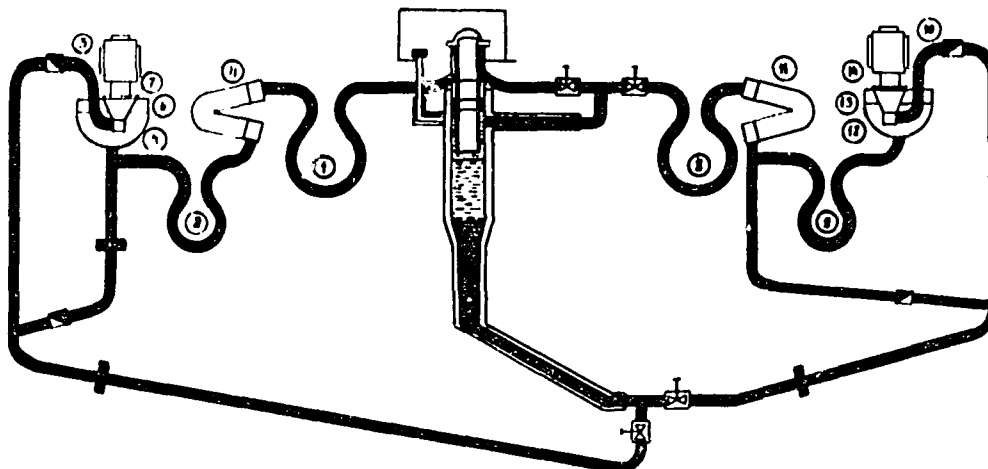
Таблица Ш

Результаты анализов растворов и измерение активности на стенке большой лиры при дезактивации первого контура

Технологическая операция	№ пробы	Активность кюри/литр		Хим.-спектр. анализ мг/л			Активность растворов % относит.						Активн.стенок большой лиры мккюри/см <sup>2</sup>					
		$\alpha$ -раствора	$\beta$ -раствора	Fe	Cz	Ni	$CS^{137}$ кэв	$Zr^{95}$ кэв	$Nb^{95}$ кэв	$Co^{58}$ кэв	Mn <sup>54</sup> кэв	$Co^{60}$ кэв	$CS^{137}$ Мэв	$E_{\gamma} < 0,8$ Мэв	$Co^{60}$ Мэв	ж	Мэв	Мэв
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Натрий сдренир.															3,3	6,4	0,2	0,12
После паровой промывки	7; жж	$10^{-8}$	1,1 $10^{-2}$	0,13	0,11	0,25	97,8	0,1	0,5	1,8	0,3	0,1		2,5	4,4	0,1	0,08	
Дистиллатн. промывка	14	"	3,8 $10^{-3}$	0,76	0,4	0,18	97		0,8	1,9	0,3							
Р-р $KMnO_4$	12	"	1,2 $10^{-3}$	0,15	10,0	0,88	97	0,2	0,9	1,8	0,35	0,1		1,8	4,5	0,1	0,085	
Дистиллат	15	"	4 $10^{-4}$	0,07	8,0	-	98,3			0,5	1,2			1,75	4,9	0,09	0,085	
Р-р $C_2H_2O_4 + H_2O_2$	16	1,3 $10^{-5}$	6,6 $10^{-3}$				25,3	2,1	16,8	9,7	38,8	7			2,7	0,11	0,17	
После цикла дезакт.	19	7 $10^{-6}$	1,3 $10^{-3}$	16	24	4	33,8	2,5	14,8	9,4	30,5	9,4			2,3	0,19	0,14	
После III цикла дезакт.	21	3 $10^{-6}$	9,3 $10^{-4}$	600	50	6,4	24,4	1,6	8,8	12,5	47	5,6		0,99	1,4	0,14	0,16	
"- IY цикла дезакт.	24	1,8 $10^{-6}$	2,5 $10^{-4}$	78	60	3,4	46,8	1,1	8,0	6,9	34,3	3,0						
"- у "-	25	7,6 $10^{-7}$	1,3 $10^{-4}$	200	12	7,2	21,9	0,8	4,9	22,7	38,2	11,3		0,65	0,93	0,14	0,14	
"- YI "-	27	9 $10^{-7}$	3,5 $10^{-4}$	174	19,2	6,4	49,6	0,7	4,3	15	24,3	6,1		0,62	0,92	0,14	0,14	
После I водной промывки	29	1 $10^{-8}$	5,3 $10^{-5}$	0,03		2,4	19,5			31,5	32,6	16,3						
"- II "-	30	"	3,2 $10^{-5}$	0,8		2,1	16,2			33,8	31,1	18,9		0,55	0,95	0,17	0,16	
"- YII "-	35	"	4 $10^{-6}$	0,038		0,18	31,2			46,8	21,9			0,48	0,77	0,11	0,10	

ж - определено по сумме изотопов  $Nb^{95}$  ( $E_{\gamma} = 765,8$  кэв),  $Co^{58}$  ( $E_{\gamma} = 810$  кэв),  $Mn^{54}$  ( $E_{\gamma} = 834,8$  кэв), жж - среднее значение из проб № 7 и 9.

Рис.2. Точки замера активности на оборудовании первого контура. 168



Паровая обработка проводилась ограниченное время в связи с опасением нарушения изоляции обмоток электродвигателей циркуляционных насосов. Продолжение паровой обработки контура, повидимому, увеличило бы эффект дезактивации.

Для удаления щелочи после паровой обработки контура и сливного бака была применена водяная промывка, которая заключалась в заполнении первого контура дистиллатом при температуре 60 - 70°C с последующей циркуляцией одновременно по обеим ниткам и центральной трубе реактора с максимальным расходом. В результате водяной промывки активность первого контура снизилась в 1,5 - 3 раза.

Пробы дистиллата имели достаточно сильно выраженную щелочную реакцию -  $pH = 10$  и содержали в основном  $CS^{137}$  и незначительное количество других изотопов:  $Zr^{95}$  -  $Ni^{95}$ ,  $Co^{58}$ ,  $Mn^{54}$ . Поскольку заполнение первого контура дистиллатом велось через сливной бак, одновременно происходила и его отмывка, в результате которой активность на поверхности сливного бака снизилась в 5 - 7 раз, составив 20 - 30  $\frac{МКР}{С}$ . Для интенсификации процесса отмывки бака проводился барбатаж дистиллата в баке путем подачи азота в переливную трубу.

### 3. ДЕЗАКТИВАЦИЯ ПЕРВОГО КОНТУРА КИСЛОТНЫМИ РАСТВОРАМИ. ПРОМЫВКА И СУШКА КОНТУРА.

Операции по дальнейшей дезактивации первого контура проводились в следующей последовательности:

1. Заполнение контура 0,3% водным раствором марганцовокислого калия при температуре 50 - 60°C;
2. Выдержка раствора в контуре или его циркуляция по контуру в течение нескольких часов при температуре 60-70°C;
3. Промывка контура дистиллатом при температуре 50-60°C;

4. Заполнение контура 1,0 - 1,5 % водным раствором щавелевой кислоты с добавкой 1% раствора перекиси водорода при температуре 50 - 60°C;
5. Выдержка раствора в контуре или его циркуляции в течение 2-4 часов при температуре 50 - 60°C;
6. Промывка контура дистиллатом.

Некоторые трудности встретились в процессе заполнения контура растворами и дистиллатом, а также при пуске циркуляции. Дело в том, что потенциметрические уровнемеры, установленные на сливном баке и баках насосов не могли давать показания в щелочной, нейтральной и кислой средах. Взамен потенциметрических уровнемеров на баках были смонтированы контактные уровнемеры типа "сигнализатора уровня". Не могли также работать при циркуляции по контуру кислотных и щелочных растворов магнитные расходомеры. Поэтому контроль за расходом при пуске циркуляции осуществлялся по нагрузке электродвигателей насосов, в дальнейшем установился максимальный расход путем полного открытия вентиля. Было проведено 6 циклов дезактивации, позволивших снизить гамма-активность трубопроводов первого контура в 2-3 раза и оборудования в 2 - 5 раз.

Как и при паровой обработке, в процессе этих операций проводился отбор проб растворов, сбрасываемых в спецканализацию. Активность растворов определялась как продуктами деления, так и продуктами коррозии и обуславливалась на 60-70%  $CS^{137}$  и  $Mn^{54}$  и на 10-20%  $Co^{58}$ ; содержание  $Co^{60}$  не превышало 10%. Кроме того, необходимо отметить достаточно интенсивную коррозию по результатам химико-спектрального анализа проб (по содержанию Fe, Cr и Ni в них).

Исходя из объема раствора 1,7 м<sup>3</sup>, который сливался за 1 цикл из первого контура, всего за время дезактивации из не-

го удалено 0,05 кюри  $\alpha$ -активности. Причём паровая обработка контура и последующие растворы до кислотной обработки контура практически не снимали  $\alpha$ -активности (см. таблицу Ш). Весь эффект снижения  $\alpha$ -загрязненности контура в основном следует отнести за счет кислотной обработки контура. Загрязненность  $\alpha$ -частицами после дезактивации составляла  $(0,3 - 1,2) \cdot 10^{-8}$  кюри/см<sup>2</sup> при полной поверхности первого контура  $\sim 10^6$  см<sup>2</sup>.  $\alpha$ -активность поверхностей контура определялась на 90%  $U^{234}$  и на 6 - 10 %  $Pu^{239}$  и  $Pu^{240}$ . Из анализа данных таблицы П, измерений активности стенок большой пиры в период дезактивации, а также измерений общей активности и активности изотопов в растворах, приведенных в таблице Ш, следует, что наибольший дезактивирующий эффект дали первые 3 цикла обработки контура растворами. В результате их воздействия после пароводяной обработки первого контура мощность дозы снизилась на трубопроводах в 2 - 3 раза и несколько больше - в 3 - 5 раз на теплообменниках и насосах.

Аналогичный результат получен по измерениям концентраций изотопов в растворах: концентрация  $Cs^{137}$ ,  $Mn^{54}$ ,  $Co^{58}$  снизилась в 2 раза;  $Zr^{95} + Nb^{95}$ ,  $Co^{60}$  в 3-4 раза. По измерениям активности стенок на большой пире видно, что за эти 3 цикла активность  $Cs^{137}$  снизилась в 2 раза; суммарное содержание изотопов  $Zr^{95}$ ,  $Co^{58}$  и  $Mn^{54}$  тоже снизилось в 2 раза.

Активность  $Co^{60}$  на стенках пиры не уменьшилась. Незначительное увеличение активности  $Co^{60}$  в течении циклов дезактивации обусловлено, по видимому, неточностью измерений.

Следующим этапом дезактивации контура была промывка контура дистиллатом с целью удаления продуктов взаимодействия. Было проведено 8 циклов заполнения, выдержки и слива дистиллата при температуре 50 - 60°C, которые практически не снизили

гамма-фон контура, но дополнительно уменьшили активность на поверхности сливного бака в 3-4 раза (до 3-4 мкР/с).

Всего при дезактивации было сброшено в спецканализацию  $\sim 60$  м<sup>3</sup> растворов. Заключительным этапом дезактивации первого контура являлась сушка контура вакуумированием и разогревом до 150°C. Сушка длилась 10 суток до прекращения выделения влаги в холодной ловушке паров, установленной на всасе вакуумного насоса.

#### 4. СОСТОЯНИЕ ПЕРВОГО КОНТУРА ПОСЛЕ ДЕЗАКТИВАЦИИ

В результате дезактивации мощность дозы гамма-излучения на I контуре снизилась в 10-20 раз и составила 20-30  $\frac{мкР}{с}$ , что позволила приступить к ремонтным работам на контуре. В общей сложности дезактивация первого контура заняла 40 дней.

В период реконструкции после дезактивации контура были вырезаны образцы из выходного коллектора реактора и из напорных трубопроводов насосов I контура для анализа оставшейся активности.

Из данных, приведенных в таблице I, видно, что дезактивация практически полностью ликвидировала активность, обусловленную продуктами деления. Активность стенок I контура после дезактивации на 97,5% определялась изотопами  $Co^{58}$ ,  $Co^{60}$ ,  $Mn^{54}$  и только на 2,5 %  $Cs^{137}$ . Сравнение результатов измерений образцов, вырезанных из "горячей" и "холодной" частей контура показала, что на "горячей" части контура активность в 3-6 раз выше.

Для выяснения вопроса, что могла бы дать дополнительная обработка контура раствором азотной кислоты, образцы были обработаны в течение I часа в 5 % растворе  $HNO_3$ . Обработка образцов снизила их активность в 28 раз. Результаты спектрометрического анализа приведены в таблице IV. Таким образом де -



закивка I контура почти полностью сняла активность обусловленную продуктами деления.

Таблица IV

Результаты анализа активности оставшейся на основных трубопроводах после дезактивации I контура

	Удельная активность $\frac{\text{мкКюри}}{\text{см}^2}$			
	$\text{Cs}^{137}$	$\text{Mn}^{54}$	$\text{Co}^{58}$	$\text{Co}^{60}$
После дезактивации I контура (образцы из "холодной" части)	0,017	0,141	0,37	0,168
После дополнительной обработки образцов азотной кислотой	0,007	0,006	0,007	0,005

Пароводяная отмывка первого контура сняла 75% активности оставшейся на стенках после дренирования натрия и практически всю активность  $\text{Cs}^{137}$ . Кислотной дезактивацией была снята подавляющая часть  $\alpha$ -активности. Всего с поверхностей первого контура в процессе дезактивации удалено 78 кюри  $\gamma$ -активных продуктов деления и продуктов коррозии в том числе

- при паровой обработке - 51 кюри,
- при водяной промывке - 6,5 кюри,
- за 6 циклов кислотной промывки - 20 кюри,
- при заключительных циклах водяных промывок - 0,4 кюри.

Альфа - активных продуктов удалено - 0,05 кюри.

Таблица У  
Сводные данные по регенерации ловушек I контура.

171

Технологические операции и результаты дезактивации	Порядковый № ловушки	
	I	3
1. Время работы ХЛО в I контуре до забивания; час	340	1400
2. Время высвечивания натрия после демонтажа из контура, годы	6	8
3. Дата проведения регенерации	1965 г.	1969 г.
4. Гамма-активность максимальная до регенерации, мкР/с	160	280
5. Гамма-активность (макс.) после удаления натрия, мкР/с	120	300*
6. Продолжительность паровой обработки, час	100	3
7. Температура пара °С	130-150	300
8. Температура реакции (макс.) °С	800	530
9. Гамма активность (макс.) после паровой обработки	2,2	250
10. Продолжительность водяной промывки, час	50	4
11. Гамма-активность (макс.) после водяной промывки, $\frac{\text{мкР}}{\text{с}}$	1,8	5,0
12. Продолжительность кислотной промывки, час	20	3
	(5% концентрация $\text{HNO}_3$ )	
13. Гамма - активность (макс.) после кислотной промывки, мкР/с	0,5	2,0
14. Продолжительность окончательной водяной промывки, час	30**	3
15. Гамма-активность (макс.) после водяной промывки, $\frac{\text{мкР}}{\text{с}}$	0,5	2,0

\* - увеличение связано со снижением самоэкранировки

\*\* - промывка велась до получения нейтральной среды раствора при выходе из ловушки.

## 5. РЕГЕНЕРАЦИЯ ХОЛОДНОЙ ЛОВУШКИ ОКИСЛОВ I КОНТУРА

В 1965 и 1969 г.г. на установке БР-5 проводилась регенерация холодных ловушек окислов I контура с целью их повторного использования (3). Процесс регенерации холодных ловушек имел определенные трудности, связанные как со спецификой конструкции ловушки, так и с наличием в ней натрия и радиоактивного цезия  $^{137}\text{Cs}$ , создающего повышенную дозу гамма-излучения в месте производства работ.

Регенерация состояла из следующих основных технологических операций:

1. Удаление из ловушки натрия,
2. Паровой обработки ловушки с отводом продуктов взаимодействия "Пар-натрий" в системы спецвентиляции и спецнализации;
3. Водяной промывки ловушки горячим дистиллатом,
4. Кислотной промывки ловушки раствором  $\text{HNO}_3$ ,
5. Повторной водяной промывки дистиллатом,
6. Сушки.

В таблице У приведены исходные данные результаты дезактивации двух ловушек по этапам технологических операций.

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. А.И.Лейпунский и др.  
"Опыт пятилетней эксплуатации реактора БР-5"  
Доклад № 312 на III Женевской конференции. 1964 г.
2. *Bartolo, Dlouhy F. "Faderna Energie"*  
№ 21, 389-392, 1962 г.
3. М.А. Горохов и др. Безопасность работы с литием, натрием, калием. М., Атомиздат, 1971.

18. Techniques for Studying  
Corrosion and Deposition  
of Radioactive Materials  
in Sodium Loops

W. F. Brehm  
L. E. Chulos  
J. C. McGuire  
A. C. Leaf  
R. P. Colburn

UNITED STATES OF  
AMERICA

172

## INTRODUCTION

The Radioactivity Control Technology Program has been established to develop methods to control the transport of radioactive materials from the core of LMFBR's to the heat transport system. The control of radioactivity transport will minimize downtime for maintenance and repairs, thus improving fuel production and plant economics.

The species of greatest interest, the activated corrosion products  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{58}\text{Co}$ , plus fission products, are not major constituents of the stainless steel. Therefore, the existing technology for the study of stainless steel corrosion had to be extended. We have used the improved methods for measurement and control of impurities in the sodium, plus the advances in electronics technology for improved gamma spectrometry. Close control of test system temperature, flow rate, and sodium purity was required in these tests.

## SUMMARY

Standard temperature and flow control methods are used for the test loops. Some improvements in temperature control methods for cold traps and coolers have been made and are described. The verification of oxygen levels in the 1 to 10 parts per billion range has been made with the vanadium wire equilibration technique.

Radionuclide migration through the test loops is monitored during test operation as well as during times when the loops are shutdown. The Ge(Li) diode gamma spectrometer and multichannel analyzer are calibrated using radiochemical standards in piping of identical sizes as used in the loops.

An incremental analysis technique has been developed to obtain chemical and radiochemical gradients in the stainless steel test specimens. These gradients arise as the result of nonuniform corrosion of the alloy constituents of stainless steel by the sodium. A calculation method has been devised to combine the results of weight change measurements and the incremental analysis to determine the corrosion rates of each alloy constituent.

## TEST SYSTEMS AND OPERATIONS

The test systems for the study of the transport and deposition of radioactive materials are called Source Term Control Loops (STCL's). Most