

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ДЕЗАКТИВАЦИЯ ЧЕХЛОВ ДЛЯ ОЯТ

ULTRASONIC DECONTAMINATION OF SPENT FUEL BASKETS

А.Е. САВКИН, *к.т.н.*,
О.К. КАРЛИНА, *к.х.н.*
(ГУП МосНПО «Радон»),
А.П. ВАСИЛЬЕВ, *к.ф.-м.н.*
(Международный центр
экологической безопасности
Минатома России)



A.E. SAVKIN,
Candidate of Technical Science,
O.K. KARLINA,
Candidate of Chemical Science
(SUE SIA Radon Moscow),
A.P. VASILIEV,
Candidate of Physics and Mathematics
Science (Minatom's International
Centre of Environmental Safety)

■ Для очистки чехлов для размещения отработавших тепловыделяющих сборок (ОТВС) создана и испытана в натурных условиях установка ультразвуковой дезактивации, использование которой в десятки раз снижает объемы РАО и общую стоимость обращения с ОЯТ.

Современная атомная энергетика является стабилизирующей основой всего национального энергетического комплекса России. Однако накопление отработавшего топлива и отсутствие окончательного удаления радиоактивных отходов являются серьезным тормозом развития отрасли, и именно это подвергается сегодня основной критике со стороны ее противников.

В нашей стране накоплено около 15 тыс. т ОЯТ. Большую проблему представляют десятки корабельных ядерных энергетических установок, требующих разделки и утилизации по мере вывода из эксплуатации. Одним из примеров такого положения дел является территория пункта временного хранения в губе Андреева, где в результате деятельности военно-морского флота скопилось значительное количество отработавшего топлива и твердых радиоактивных отходов.

ТРО в губе Андреева включают металлические изделия различных типоразмеров:

- крупногабаритные металлические толстостенные ТРО, хранящиеся как на открытых площадках, так и в заглубленных хранилищах;
- тонкостенные металлические отходы;
- чехлы для размещения отработавших тепловыделяющих сборок (ОТВС), хранящиеся на открытых площадках навалом и в контейнерах в заглубленных хранилищах;
- цепи для подвесок чехлов с ОТВС в бассейнах выдержки;
- подъемно-транспортные цепи и т.д.

Дезактивация таких отходов на месте позволит направлять чистые и «условно чистые» металлические изделия, в том числе и из нержавеющей стали, на переплавку на специализированные предприятия и уменьшить объем РАО, подлежащих кондиционированию и долговременному хранению.

■ In order to clean the baskets used to hold spent fuel assemblies (SFAs) an ultra-sonic decontamination installation has been built and field-tested. The facility can reduce by dozens of times the amount of radwaste and overall cost of spent fuel management.

Modern nuclear power acts as a stabilising basis for Russia's entire national energy sector. However, building-up stocks of spent fuel and absence of a final solution for radioactive waste removal seriously hamper progress of the nuclear industry and attract most of the criticism from the industry's opponents.

Our country has accumulated about 15 thousand tonnes of spent fuel. A major problem is posed by dozens of naval nuclear power installations, which require dismantling and disposal as the ships that carry them go into decommissioning. One example of such a situation is the temporary storage site in the Andreyev Bay, where as a result of naval operations large quantities of spent fuel and solid radioactive waste have been accumulated.



Рис. 1. Внешний вид опытной установки дезактивации в губе Андреева
Fig. 1. A view of pilot decontamination plant in the Andreyev Bay

ТАБЛИЦА 1. РЕЗУЛЬТАТЫ ДЕЗАКТИВАЦИИ ФРАГМЕНТОВ ЧЕХЛОВ
TABLE 1. RESULTS OF BASKET FRAGMENTS DECONTAMINATION

Тип дезактивирующего раствора (ДР), режим обработки <i>Type of decontamination (DR) solution, process parameters</i>	№ точки измерения, уровень загрязнения, частиц/см ² *мин <i>Measurement point No., contamination level, particles/cm²*min</i>		Коэффициент дезактивации <i>Decontamination coefficient</i>
	До дезактивации <i>Before decontamination</i>	После дезактивации <i>After decontamination</i>	
ДР-1, T=50°C, τ=20 мин <i>DR-1, T=50°C, τ=20 min</i>	I – 18000 III – 720 VI – 6130	I – 1000 IV – 20 II – 30 V – 9 III – 15 VI – 36	44,1
ДР-2, T=50°C, τ=30 мин <i>DR-2, T=50°C, τ=30 min</i>	I – 60 IV – 60 II – 120 V – 102 III – 280	I – 24 II – 54 III – 42	2,88
ДР-3, T=50°C, τ=60 мин <i>DR-3, T=50°C, τ=60 min</i>	I – 1800 II – 642 III – 684	I – 54 II – 35 III – 54	21,7
ДР-4, T=50°C, τ=30 мин <i>DR-4, T=50°C, τ=30 min</i>	I – 300 IV – 120 II – 90 V – 14400 III – 310	I – <6 IV – <6 II – <6 V – 6 III – 12	846

ОПЫТНАЯ УСТАНОВКА ДЕЗАКТИВАЦИИ

Для дезактивации чехлов для размещения ОТВС в губе Андреева опробована установка ультразвуковой дезактивации, ранее испытанная на искусственно загрязненных металлических отходах на ГУП МосНПО «Радон». Установка была размещена в отдельном отапливаемом помещении филиала №1 ФГУП «СевРАО».

Установка (рис. 1) состоит из следующих основных элементов:

- ультразвуковая ванна;
- бак для воды;
- бак подготовки раствора;
- насос Н-1;
- насос Н-2;
- шкаф управления с ультразвуковым генератором.

В ходе испытаний в губе Андреева было дезактивировано около 10 м³ металлических РАО. Коэффициент сокращения объема отходов после дезактивации и последующего кондиционирования вторичных РАО – 35.

Испытания установки проводили на фрагментах чехлов для размещения ОТВС из нержавеющей стали типов 22М и ЧТ-4, разделенных на три фрагмента и имеющих Σβ-загрязнение от нескольких сотен до 18 тыс. частиц/см²*мин.

Результаты дезактивации фрагментов чехлов в различных дезактивирующих растворах представлены в таблице 1.

Как видно, на одном из нескольких опробованных составов показана принципиальная возможность дезактивации фрагментов чехлов для размещения ОТВС до фоновых значений.

В процессе испытаний опытную установку дооборудовали узлами очистки промывной воды, кондиционирования отработавшего дезактивирующего раствора и сдувки газовых выделений. Основными элементами узла очистки являются мембранный фильтр и фильтр-контейнер, заполненный селективными сорбентами МДМ и «Термоксид-35», узла кондиционирования – 200-литровая бочка с одноразовой мешалкой для приготовления цементного компаунда на основе отрабо-

The solid radwaste in the Andreyev Bay includes metallic items of various types and dimensions:

- large metallic thick-walled solid radwaste, stored both on open-air grounds and in sub-surface storage locations;
- thin-walled metallic waste;
- baskets that were used to hold spent fuel assemblies (SFAs), stored both in-bulk on open-air grounds and in casks in sub-surface storage locations;
- chains previously used to suspend SFA baskets in cooling pools;
- handling chains, etc.

In-situ decontamination of such waste will enable sending “clean” and “conditionally clean” metallic items, including those made of stainless steel, to special facilities for re-melting thus reducing the amounts of radwaste to be conditioned and long-term stored.

PILOT DECONTAMINATION PLANT

The decontamination process of SFA baskets currently stored in the Andreyev Bay was tested out using the ultrasonic decontamination plant that was previously tried on artificially contaminated metallic waste at SUE SIA Radon Moscow. The plant was placed in a stand-alone heated facility of SevRAO branch No. 1.

The plant (see fig. 1) consists of the following key components:

- ultra-sonic bath;
- water tank;
- solution tank;
- pump N-1;
- pump N-2;
- control cabinet with an ultra-sonic generator.

During trials in the Andreyev Bay, about 10 м³ of metallic radwaste were decontaminated. The waste volume reduction coefficient after decontamination and post-conditioning of secondary radwaste was 35.

The plan was tested on fragments of 22M and ЧТ-4 SFA baskets made of stainless steel, pre-separated into three fragments with Σβ-contamination from a few hundred to 18 thousand particles/cm²*min.

The results of decontamination of basket fragments in various decontamination solutions are presented in Table 1.

тавшего дезактивирующего раствора. По результатам радиационного контроля дезактивированные отходы разделяли на три потока:

- неограниченного использования;
- ограниченного использования;
- радиоактивные отходы.

Сбор и хранение указанных типов отходов проводят отдельно.

Все вторичные РАО, полученные при дезактивации, подлежат кондиционированию. Отработавший дезактивирующий раствор включают в цемент; промывную воду очищают в фильтре-контейнере, при этом радионуклиды концентрируются в сорбенте. Кондиционированные вторичные отходы отправляют на долговременное хранение в специальной упаковке.

По результатам испытаний разработан проект промышленной установки для дезактивации металлических радиоактивных отходов с использованием ультразвука.

РАСЧЕТ СЕБЕСТОИМОСТИ ОЧИСТКИ

Проведем расчет стоимости дезактивации по прямым затратам.

Допустим, необходимо очистить 1000 фрагментов чехлов общей массой около 25 т, максимальная мощность дозы γ -излучения на расстоянии 1 м от которых составляет 100 мкР/ч.

При производительности установки два чехла (50 кг) в час время переработки составит 500 часов. Средняя электрическая мощность установки – 10 кВт; стоимость 1 кВт*ч – 2 рубля.

Объемная активность отработавшего раствора после дезактивации одного фрагмента – 4,3 E+2 Бк/л по ^{137}Cs и 1,0 E+4 Бк/л по ^{90}Sr , 1000 фрагментов – 4,3 E+5 и 1,0 E+7 соответственно. При этом, как показывают расчет, мощность дозы γ -излучения от 200-литрового бака с раствором на расстоянии 1 м составит 70-80 мкР/час.



As demonstrated by the results, one of the tried solutions provides for decontamination of SFA basket fragments to background levels of radioactivity.

In the process of testing, the pilot plant was improved by adding facilities for purification of rinsing water, conditioning of spent decontamination solution and blow-off of gas releases. Key elements of the purification unit are the membrane filter and the container filter filled with selective sorbents MDM and ThermoXid-35, of the conditioning unit – 200-litre drum with single-use stirrer for the preparation of a cement compound based on the spent decontamination solution. Resulting from radiation inspection, the decontaminated waste was split into three flows:

- nonrestricted use;
- restricted use;
- radwaste.

Said types of waste are collected and stored separately.

All secondary radwaste obtained from the decontamination process is to be conditioned. Spent decontamination solution is included in a cement matrix; rinsing water is treated in a container filter with the radionuclides trapped in the sorbent material. Conditioned secondary waste is sent for long-term storage in a special packaging.

Resulting from the trials, a design has been developed for an industrial-scale installation for decontamination of metallic radioactive waste using ultra-sound.

TREATMENT COST CALCULATION

Presented below is a calculation of direct decontamination costs.

Let us assume that 1,000 basket fragments need to be decontaminated, weighing in total about 25 tonnes, peak dose rate from γ -radiation at 1 metre from the surface 100 $\mu\text{R}/\text{hour}$.

With the installation's production capacity of two baskets (50 kg) an hour, the duration of processing will be 500 hours. Average electrical power of the plant is 10 kW; 1 kW*hour costing 2 roubles.

Volumetric activity of spent solution after decontamination of one fragment is 4.3 E+2 Bq/litre of ^{137}Cs and 1.0 E+4 Bq/litre of ^{90}Sr , after 1,000 fragments – 4.3 E+5 and 1.0 E+7,



Рис. 2. Вид фрагментов чехлов до (1) и после (2) дезактивации
Fig. 2. Basket fragments before (1) and after (2) decontamination

ТАБЛИЦА 2. ЗАТРАТЫ НА ПЕРЕРАБОТКУ ЧЕХЛОВ ДЛЯ ОТВС
TABLE 2. SFA BASKET PROCESSING COSTS

Расходные материалы / Consumables				
Наименование Name	Единицы измерения Unit	Количество Quantity	Цена одной единицы измерения, рублей Price per unit, roubles	Сумма, рублей Amount, roubles
Дезактивирующее средство (с учетом укрепления раствора) Decontamination solution (taking into account solution strengthening)	л / l	50	100	5000
Вода (с учетом испарений) Water (taking into account evaporation)	м ³ / m ³	1	50	50
Серная кислота (с учетом расходования) Sulphuric acid (taking into account consumption)	кг / kg	10	25	250
Гидроксид натрия (для нейтрализации отработавшего раствора) Sodium hydroxide (for neutralisation of spent solution)	кг / kg	10	25	250
Цемент / Cement	т / tonne	0,4	6000	2400
Фильтр-контейнер / Container filter	шт. / pcs	1	45000	45000
Оплата труда специалистов / Labour cost				100000
Отчисления на социальные нужды / Social fees				26300
Затраты на электроэнергию / Power				10000
Амортизационные отчисления на полное восстановление основных производственных фондов Depreciation of main production assets				17500
Хранение кондиционированных РАО / Storage of conditioned radwaste				125000
ИТОГО / TOTAL				294250

Предположим, что 10% активности переходит в промывную воду. Тогда в результате дезактивации 1000 фрагментов активность промывной воды будет равняться $1,0 \text{ E}+7 \cdot 200 \text{ л} \cdot 10\% = 2,0 \text{ E}+8$. Для очистки воды такой активности достаточно одного фильтра-контейнера ФК-1.

200 л отработавшего раствора необходимо включить в цементный компаунд. При цементировании таких ЖРО соотношение «раствор – цемент» составляет 0,6. В одну 200-литровую бочку необходимо залить 100 л раствора и засыпать, перемешивая, 4 мешка цемента по 50 кг каждый. То есть при дезактивации 1000 фрагментов чехлов образуется две 200-литровых бочки с цементным компаундом на основе отработавшего дезактивирующего раствора.

Общий объем вторичных РАО, направляемых на хранение, в итоге составит 0,7 м³.

Расчет себестоимости переработки 1000 фрагментов чехлов для размещения ОТВС представлен в таблице 2.

Таким образом, себестоимость переработки 1 кг радиоактивно загрязненных металлических отходов составит 11,8 рублей, что значительно меньше стоимости нержавеющей стали в пунктах приема вторсырья.

Это лишь оценочный расчет, однако, он показывает, что дезактивация чехлов для размещения ОТВС с помощью ультразвуковой установки является рентабельной. При этом следует учесть, что при использовании этой технологии объем кондиционированных РАО уменьшается более чем в 30 раз – следовательно, многократно сокращаются расходы на последующее долговременное хранение, которое, как правило, еще более затратное, чем переработка.

respectively. As calculations show, γ -radiation dose rate from a 200-litre tank with the decontamination solution at 1 metre away is 70-80 $\mu\text{R}/\text{hour}$.

Let us assume that 10% of radioactivity is washed into the rinsing water. Then, as a result of decontamination of 1,000 fragments, activity of rinsing water will equal $1.0 \text{ E}+7 \cdot 200 \text{ litre} \cdot 10\% = 2.0 \text{ E}+8$. In order to clean water with that activity level, a single FK-1 container filter is sufficient.

200 litres of spent solution need to be incorporated into a cement compound. During cementation of this type of liquid radwaste, the “solution – cement” ratio is 0.6. One 200-litre drum is filled with a 100 litres of solution and then, four bags of cement 50 kg each are added while mixing. That means that decontamination of 1,000 basket fragments produces two 200-litre drums with cement compound based on the spent decontamination solution.

The total volume of secondary radwaste sent for storage will consequently be 0.7 м³.

The calculation of cost of processing of 1,000 SFA basket fragments is shown in Table 2.

Thus, the cost of processing of 1 kg of radioactively contaminated metallic waste is 11.8 roubles, which is much lower than the cost of stainless steel as offered by secondary recyclable materials collection points.

This is just a preliminary calculation; however, it still demonstrates that decontamination of SFA baskets using ultrasonic treatment is economically viable. It should also be considered that utilisation of this technology reduces the amount of conditioned radwaste by a factor of more than 30 – accordingly, manifold reduction is achieved of costs for subsequent long-term storage, which, as a rule, is even more costly than processing.