

ИСПЫТАНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ДЕЗАКТИВАЦИИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ РАО

TESTING OF ULTRASONIC DECONTAMINATION UNIT FOR METALLIC RADWASTE

А.Е. САВКИН, к.т.н.,
О.К. КАРЛИНА, к.х.н. (ГУП МосНПО «Радон»),
А.П. ВАСИЛЬЕВ, к.ф.м.н.,
В.М. МАЛИНКИН, к.т.н. (МЦЭБ Минатома РФ),
Г.В. ДУБИНИН, к.т.н. (ФГУП НИКИЭТ им. Н.А.Доллежалея),
Н.М. ЛЕБЕДЕВ, Б.А. СМIRNOV
(ООО «АЛЕКСАНДРА-ПЛИУС»)

A.E. SAVKIN, Candidate of Technical Science,
O.K. KARLINA, Candidate of Chemical Science
(SUE SIA Radon Moscow),
A.P. VASILYEV, Candidate of science in physics and mathematics,
V.M. MALINKIN, Candidate of Technical Science
(Minatom's Environmental Safety Centre),
G.V. DUBININ, Candidate of Technical Science (NIKIET),
N.M. LEBEDEV, B.A. SMIRNOV (ALEXANDRA-PLUS Ltd.)

■ Для очистки металлических радиоактивных отходов (МРО) наиболее широко применяются жидкостные способы, заключающиеся в обработке металлических деталей различными дезактивирующими растворами, в том числе и в сочетании с другими методами интенсификации процесса. Одним из таких способов является дезактивация с использованием ультразвука.

ПРОБЛЕМА ОЧИСТКИ МРО

При выводе из эксплуатации атомных электростанций, ядерно-энергетических установок организаций Министерства обороны, оборудования научно-исследовательских учреждений и других объектов образуются металлические радиоактивные отходы, представляющие собой установки, изделия различных типов и отдельные фрагменты, загрязненные радиоактивными веществами. Объемы таких отходов весьма значительны. По разным экспертным оценкам, в мире накоплено 12,4 млн т металлических РАО, из которых примерно 2 млн т находятся в России. Уже сегодня большую проблему представляют собой десятки корабельных ядерных энергетических установок, требующих разделки и утилизации по мере вывода из эксплуатации.

Проблема заключается в том, что в России, кроме ЗАО «Экомет-С», нет специализированных предприятий, целенаправленно занимающихся переработкой металлических радиоактивных отходов. Кроме того, на многих объектах, где образуются металлические РАО, отсутствуют установки для их дезактивации и кондиционирования, в том числе вторичных радиоактивных отходов. Зачастую в местах нахождения МРО нет необходимой инженерной инфраструктуры для проведения дезактивации.

Насущная задача обеспечения радиоэкологической безопасности – разработка способа дезактивации металли-

■ *Decontamination of metallic radioactive waste is most frequently performed using liquid methods, which are based on treatment of metallic parts with various liquid decontamination solutions, sometimes combined with other methods of treatment to intensify the decontamination process. One of such other methods is treatment by ultrasound.*

METALLIC RADWASTE TREATMENT ISSUE

During decommissioning of nuclear power plants, military nuclear power installations, research facilities and other objects, metallic radioactive waste is generated which is represented by installations, products of various types and individual parts contaminated with radioactive matters. The volumes of such radwaste are quite significant. According to expert evaluations, there are 12.4 million tonnes of metallic radwaste in the world now, about 2 million tonnes of which is located in Russia. Today, dozens of ship-borne nuclear power installations, which require dismantling and disposal of as part of decommissioning, represent a serious concern.

The problem is that in Russia, apart from Ecomet-S, there are no organisations specialising in processing of metallic radioactive waste. In addition, many installations that generate metallic radwaste lack facilities to decontaminate and condition such radwaste, including secondary radwaste. Often, the locations of metallic radwaste lack the necessary infrastructure for decontamination.

One of the pressing tasks of radiation safety assurance is to develop a method for metallic radwaste decontamination that could be used at sites that hold considerable amounts of such radwaste but lack the necessary means to treat it.

For instance, the temporary radwaste storage location in the Andreyev Bay currently contains significant quantities of solid radioactive waste that has originated from the naval operations. It includes scrap metal of various origins and sizes, including

■ Дезактивация радиоактивно загрязненных металлических поверхностей проводится, как правило, в технологических процессах для снижения мощности дозы от эксплуатируемого оборудования и обеспечения безопасности обслуживающего персонала. Она осуществляется на штатном оборудовании, с использованием специальных дезактивирующих средств. Для металлических поверхностей применяется, как правило, жидкостная дезактивация.

ческих отходов, который можно было бы реализовать на предприятиях, имеющих большое количество таких РАО, но не располагающих средствами для их переработки.

Например, в пункте временного хранения РАО в губе Андреева, в результате деятельности ВМФ, скопилось много твердых радиоактивных отходов. В их числе металлический лом различного типа и размеров, в том числе крупногабаритные толстостенные изделия, чехлы для размещения отработавших тепловыделяющих сборок (ОТВС), подъемно-транспортные цепи и прочие отходы, находящиеся как на открытых площадках, так и в заглубленных хранилищах.

Деактивация таких РАО на месте позволит направлять очищенные металлические изделия, в том числе из нержавеющей стали, на переплавку на специализированные предприятия и уменьшать объем РАО, подлежащих кондиционированию и долговременному хранению.

УСТАНОВКА ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ДЕЗАКТИВАЦИИ

Международный центр экологической безопасности Росатома РФ и ООО «АЛЕКСАНДРА-ПЛУС» разработали и изготовили «Опытно-промышленную установку для ультразвуковой дезактивации металлических изделий сложной геометрии модели МО-42» (рис. 1). Основные узлы установки – ванна для дезактивации, баки для подготовки дезактивирующего раствора и воды, электрошкаф с ультразвуковыми генераторами.

На ГУП МосНПО «Радон» были проведены испытания этой установки, чтобы оценить возможность ее использования для дезактивации чехлов для размещения ОТВС, находящихся в пункте временного хранения в губе Андреева.

Такие чехлы представляют собой конструкцию из труб различного диаметра (не превышающего 0,242 м) и длиной от 2,35 до 3,06 м, собранных в сборку по семь штук. В качестве металлических радиоактивных отходов, в первую очередь, рассматривались чехлы для размещения ОТВС типов 22, 22М, 24 и 24М, загрязненные радионуклидами ^{137}Cs и ^{90}Sr . Объектами для испытаний выбрали фрагмент чехла из семи труб длиной примерно 0,6 м и нержавеющей трубы диаметром 0,088 м и длиной 0,2–0,8 м.

Основная проблема при подготовке к испытаниям состояла в моделировании реального радиоактивного загрязнения фрагментов чехлов для ОТВС. Для испытаний использовали кубовый остаток Калининской АЭС и растворы изотопов ^{137}Cs и ^{90}Sr в смеси с сильными минеральными кислотами. Экспериментально было определено, что раствор изотопов ^{137}Cs и ^{90}Sr в соляной кислоте при воздействии на загрязняемую поверхность

large-dimension thick-walled items, containers for spent fuel assemblies (SFA), handling chains and other types of waste that is held both in open-air grounds and sub-surface storage locations.

On-site decontamination of such radwaste would enable removal of cleaned metal parts, including those made of stainless steel, to specialised remelting plants, thus reducing the volume of radwaste subject to conditioning and long-term storage.

ULTRASONIC DECONTAMINATION UNIT

The International Environmental Safety Centre of Minatom together with ALEXANDRA-PLUS Ltd. have engineered and fabricated the MO-42, a pilot unit for ultrasonic decontamination of irregular-geometry metal components (see fig. 1). The main elements of the unit are: decontamination vessels, water and decontamination solution tanks, electrical cabinet with generators of ultrasound.

This unit has been simulation-tested at Radon Moscow with the objective of establishing whether it could be used for decontamination of SFA container bundles currently located in the Andreyev Bay storage facility.

These SFA “containers bundles” are structures made of various-diameter (not more than 0.242 m) tubes, put together in bundles of seven, 2.35 to 3.06 metres long. The primary me-



Рис. 1. Опытно-промышленная установка
Fig. 1. Experimental industrial installation

talic radwaste to be treated was represented by SFA thimble types 22, 22M, 24 and 24M, contaminated by ^{137}Cs and ^{90}Sr . The object of testing was chosen to be a bundle fragment consisting of seven tubes approximately 0.6 m long, as well as stainless steel tubes 0.088 m diameter and 0.2–0.8 m long.

The major problem for this testing was to simulate the actual radioactive contamination of an SFA container bundle. For testing purposes, evaporator concentrate from Kalinin NPP was used, along with ^{137}Cs and ^{90}Sr solutions in strong mineral

■ **Decontamination of radioactively contaminated metallic surfaces** is normally performed on technological process equipment with the objective of reducing the dose rate from the equipment and ensuring safety of operations staff. This decontamination is performed on regular process equipment, using special decontamination media. For metallic surfaces, liquid decontamination is normally applied.

в течение более 40 часов обеспечивает образование на ней снимаемого и фиксированного загрязнения, причем доля фиксированного загрязнения превышает 20%.

На рис. 2 показан внешний вид образцов нержавеющей труб и фрагмента чехла, подвергнутых обработке с целью закрепления на них радиоактивного загрязнения.

На нержавеющей трубах были отработаны режимы работы установки и определены оптимальные составы дезактивирующих растворов. Использовались кислые и щелочные водные растворы моющих средств с добавками комплексонов и ингибиторов коррозии. Температура дезактивирующего раствора – комнатная, 40 и 50°C. Время обработки: 2–20 минут.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ

Эксперименты показали, что использование ультразвука в сочетании с обработкой загрязненных образцов дезактивирующими растворами существенно повышает эффективность очистки (см. таблицу). Причем увеличение продолжительности обработки до 20 минут, а температуры – от комнатной до 50°C также способствует повышению степени дезактивации металла.

Ультразвуковая дезактивация искусственно загрязненных металлических отходов в кислых растворах оказалась достаточно эффективна в отношении радионуклидов цезия и стронция. Коэффициент дезактивации нержавеющей труб (при различных условиях и режимах обработки) составил 20–1000, фрагмента чехла для размещения ОТВС – 90–500.

На рис. 3 представлены нержавеющие трубы и фрагмент чехла после дезактивации. Видно, что с поверхнос-

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ УСТАНОВКИ НА ОБРАЗЦАХ ТРУБ
RESULTS OF TESTING ON TUBE SAMPLES**

Дезактивирующий раствор Decontamination solution	Коэффициент дезактивации Decontamination coefficient	
	Без УЗ Without ultrasonic treatment	УЗ With ultrasonic treatment
Техническая вода Process water	3–5	20–30
0,5% NaOH + ЭДТА 0.5% NaOH + EDTA	4–8	10–28
0,5% H ₂ C ₂ O ₄ + стиральный порошок 0.5% H ₂ C ₂ O ₄ + washing powder	25–30	50–300
ТМС ДТ (1 : 20 с водой) TMS DT (1 : 20 with water)	28–40	60–250

acids. It was experimentally proven that the hydrochloric acid solution of ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr, when applied on a surface for over 40 hours, causes fixed and removable contamination of the surface to form, with the fixed contamination share of over 20%.

Fig. 2 shows the appearance of stainless steel samples and the bundle fragment that have been treated to cause radioactive contamination to fix on them.

The stainless steel tubes were used to refine the operating modes of the unit and optimise the compositions of decontamination solutions. Solutions of acid and alkali in water of detergents were used, with complexing agents and corrosion inhibitors added. The decontamination solution from room temperature to 40 and 50°C. Treatment time: from 2 to 20 minutes.

TEST RESULTS

The experiments have shown that the application of ultrasound in combination with treating the contaminated samples with decontamination solutions considerably improves decontamination efficacy (see table). Increasing the duration of treatment from 2 to 20 minutes and temperature from normal room levels to 50°C also facilitates the decontamination of metal.

Ultrasonic decontamination of artificially contaminated metallic radwaste in acid solutions turned out to be effective

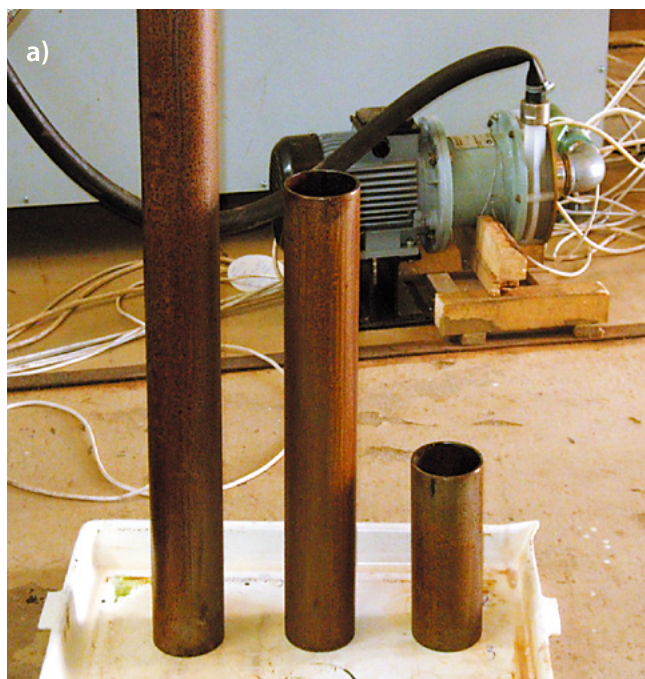


Рис. 2. Трубы (а) и фрагмент чехла ОТВС (б) до дезактивации
Fig. 2. Tubes (a) and fragment of SFA container bundle (b) before decontamination

ти образцов полностью удалена оксидная пленка, образовавшаяся при их обработке солянокислым раствором изотопов ^{137}Cs и ^{90}Sr .

Таким образом, результаты экспериментов, полученные при ультразвуковой дезактивации искусственно загрязненных металлических труб и фрагмента чехла для ОТВС на установке ультразвуковой дезактивации, можно оценить как позитивные.

В ходе испытаний оптимизированы составы дезактивирующих растворов и режимы ультразвуковой обработки образцов, решена проблема пенообразования. Выяснили оптимальные размеры фрагментов чехлов для ОТВС, подлежащих очистке.

Определены направления усовершенствования конструкции установки. Предложенное изменение конструкции узла загрузки ускорит и упростит размещение дезактивируемых образцов, расширит их ассортимент и повысит радиационную безопасность обслуживающего персонала.

Предложен порядок подготовки металлических отходов к дезактивации, определяющий последовательность проведения дозиметрических и радиометрических измерений с целью оценки соотношения видов загрязнения и дозовых нагрузок на персонал.

Полученные результаты можно рассматривать как первый шаг на пути создания автономной установки, позволяющей дезактивировать металлические отходы, в том числе изделия сложной формы из нержавеющей стали.

По результатам работы предложено провести испытания на «реальных» отходах – загрязненных фрагментах чехлов для ОТВС в пункте временного хранения радиоактивных отходов в губе Андреева. При положительном результате испытаний установка будет дополнена узлом кондиционирования вторичных радиоактивных отходов.

enough to remove contamination by caesium and strontium nuclides. The decontamination coefficient for stainless steel tubes (under various treatment modes and conditions) was from 20 to 1000, and for SFA bundle fragment from 90 to 500.

Fig. 3 shows the appearance of stainless steel tubes and container bundle fragment after decontamination. It is visible that the sample surfaces after decontamination are completely free of the oxidation film that had formed after treating them with the muriatic solution of ^{137}Cs and ^{90}Sr .

Therefore, the results of experimental ultrasonic decontamination treatment of artificially contaminated metal tubes and SFA container bundle can be considered as positive.

The tests have enabled optimisation of the composition of decontamination solutions and modes of ultrasonic treatment of samples, and the problem of foam formation has been addressed. Optimum dimensions of SFA container bundles for treatment have also been determined.

Improvements of the decontamination unit design have been identified. The proposed design changes of the loading system will expedite and simplify the placing of items to be decontaminated, extend the range of decontaminable items and improve radiation safety of personnel.

A process for preparation of metal radwaste for decontamination has been proposed, which defines the sequence of dosimetry and radiometry measurements to assess the proportions of types of contamination and personnel exposure.

The results that have been obtained can be regarded as the first step toward creating an autonomous unit that would be used for decontamination of metallic wastes, including irregular-geometry items of stainless steel.

Resulting from this work it has been proposed that testing be repeated on “live” waste, i.e. on actual contaminated fragments of SFA container bundles from the temporary radwaste storage location in Andreyev Bay. Should these live tests produce positive results as well, the unit will be amended to include a system for conditioning of secondary radwaste.

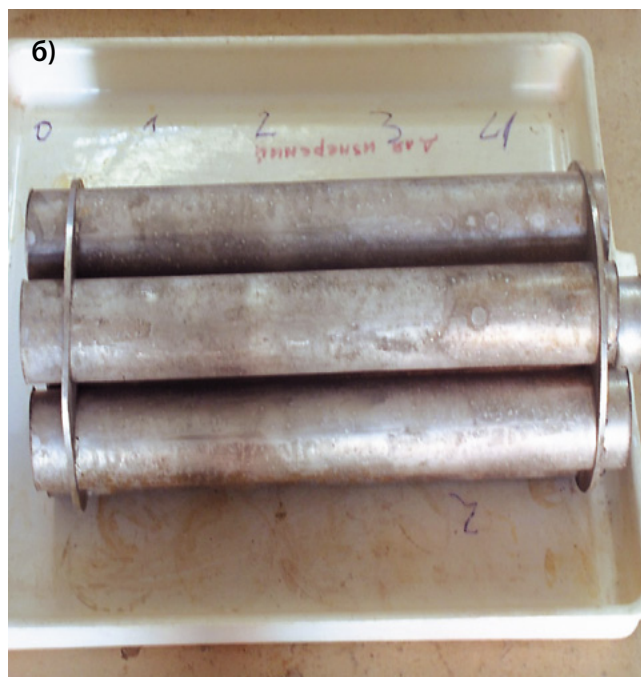


Рис. 3. Трубы (а) и фрагмент чехла ОТВС (б) после дезактивации
Fig. 3. Tubes (a) and fragment of SFA container bundle (b) after decontamination