

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ДЕЗАКТИВАЦИЯ МЕТАЛЛА НА МЕСТЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ

ELECTROCHEMICAL DECONTAMINATION OF METAL AT THE CONTAMINATION SPOT

А.С. БАРИНОВ, *к.т.н.*,
А.Ю. ЮРЧЕНКО,
О.К. КАРЛИНА, *к.х.н.*,
А.Н. НИКОЛАЕВ,
Ю.В. КАРЛИН, *д.х.н.*
(ГУП МосНПО «Радон»)

A.S. BARINOV, *Candidate of Technical Science*,
A.Y. YURCHENKO,
O.K. KARLINA, *Candidate of Chemical Science*,
A.N. NIKOLAYEV,
Y.V. KARLIN, *Doctor of Chemical Science*
(SUE SIA Radon Moscow)

■ При выводе из эксплуатации оборудования и помещений нередко возникает необходимость очистки металлических поверхностей громоздкого лабораторного оборудования и устройств, локально загрязненных радиоактивными веществами, поскольку демонтаж оборудования для вывоза на переработку зачастую бывает трудоемким и радиационно-опасным. Кроме того, часто требуется дезактивация действующих локально загрязненных радионуклидами помещений и лабораторного оборудования. Предлагаемый способ дезактивации дает возможность очищать металлические поверхности непосредственно в местах их расположения при минимальном участии персонала.

УСТАНОВКА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ДЕЗАКТИВАЦИИ

На ГУП МосНПО «Радон» разработана и испытана опытная установка для электрохимической дезактивации плоских металлических поверхностей – горизонтальных, наклонных и вертикальных.

Основным элементом является присоска, представляющая собой камеру с двумя штуцерами для вакуумирования ее внутреннего объема и для подачи в него дезактивирующего раствора.

За счет вакуумирования присоска может надежно удерживаться как на горизонтальных, так и на вертикальных поверхностях без дополнительных фиксирующих приспособлений.

Дезактивирующий раствор, подачу которого можно регулировать, поступает в рабочий объем присоски аспирационно через гибкий шланг, а удаляется – через штуцер для вакуумирования вместе с откачиваемым воздухом. Таким образом, осуществляется непрерывный проток дезактивирующего раствора через рабочий объем присоски. Отработанный дезактивирующий раствор собирается в сборнике-ресивере, впоследствии он может быть восстановлен и использован повторно.

Дезактивация металла осуществляется за счет анодного растворения поверхностного слоя, содержащего радионуклидное загрязнение, с одновременным удалением радионуклидов-загрязнителей вместе с

■ During decommissioning of equipment and rooms, it is often necessary to clean the metallic surfaces of bulky laboratory equipment and devices that have local contaminations with radioactive materials, as dismantling of such equipment for removal for processing is often labour-consuming and radiation-dangerous. In addition to that, it is often necessary to perform decontamination of operating locally contaminated rooms and laboratory equipment. The proposed method of decontamination makes it possible to clean metallic surfaces directly at their current locations with minimum involvement of personnel.

ELECTROCHEMICAL DECONTAMINATION DEVICE

SUE SIA Radon Moscow has developed and tested a device for electrochemical decontamination of flat metallic surfaces, including horizontal, sloping and vertical.

The core element of the device is a vacuum cap, which is a chamber with two branch pipes, which are used for vacuuming of the inner volume of the cap and supply of decontamination solution into it.

Due to the vacuuming capability, the cap may be securely attached to horizontal and vertical surfaces with no additional fixing devices.

The decontamination solution, the supply of which is controllable, is fed to under the cap through a flexible hose under atmospheric pressure, and is removed through the vacuuming branch pipe together with the evacuated air. Therefore, there is continuous flow of the decontamination solution through the working volume of the cap. Spent decontamination solution is collected in a receiver tank, from which it may be sent for regeneration and be re-used.

Decontamination of metal occurs thanks to the anodic dissolution of its surface layer, which contains the contaminating radionuclides, with concurrent removal of the contaminating radionuclides together with the spent solution and the etching sludge; the gases that are generated as a result of electrolysis are also sucked out through the vacuuming branch. In this process, the anode is the metal that is being decontaminated and the cathode is the body of the suction cap.

отработанным раствором и травильным шламом; образующиеся при электролизе газы также отсасываются через штуцер вакуумирования. При этом анодом служит дезактивируемый металл, катодом – корпус присоски.

Эффективность дезактивации определяется глубиной разрушения поверхностного слоя металла и изначально зависит, в основном, от рабочей плотности электрического тока и времени обработки.

Состав используемого дезактивирующего раствора зависит от состояния обрабатываемой поверхности: степенью коррозии, наличия лакокрасочных покрытий, масла, шлаков и т.п.

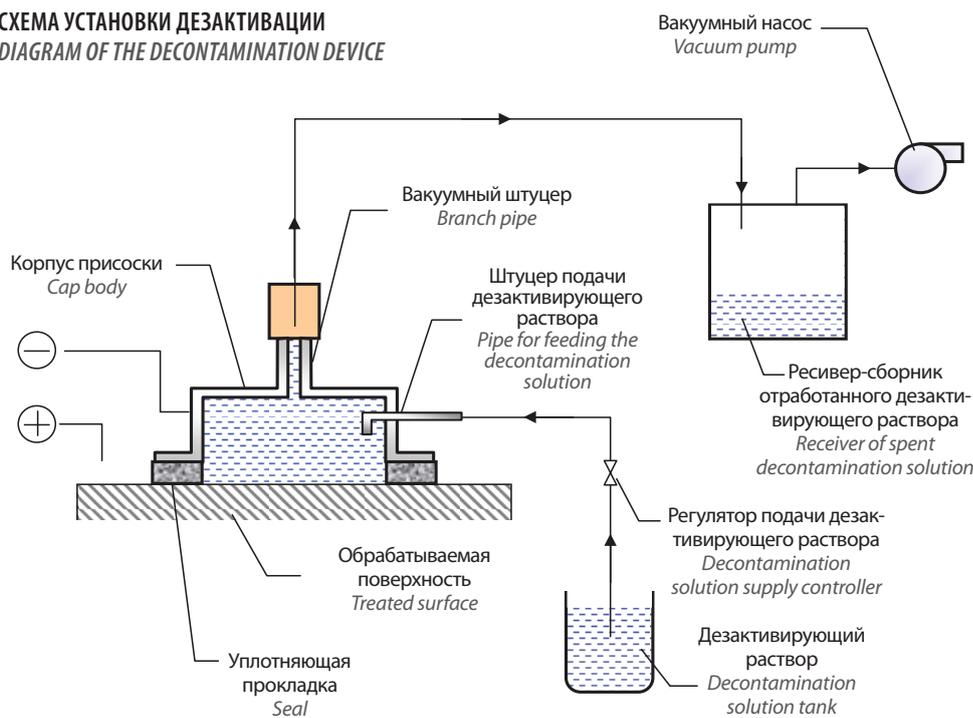
Установка электрохимической дезактивации была испытана на фрагментах металлического оборудования, имеющего радиоактивное загрязнение различной природы и разного уровня активности. Испытания проводились в лабораторных условиях и на оборудовании радиохимической лаборатории, выводимой из эксплуатации.

ЛАБОРАТОРНОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ

Для лабораторных испытаний были выбраны металлические материалы и фрагменты оборудования, загрязненные радионуклидами в процессе эксплуатации:

- свинцовая плита с многочисленными выбоинами глубиной до 5 мм (загрязнение глубинное, фиксированное; плотность потока β -частиц – 900-1300 част/см²*мин);
- фрагмент воздуховода установки сжигания «Факел» из нержавеющей стали, покрытый сплошным жирным слоем сажи толщиной до 3 мм (плотность потока β -частиц – до 60 част/см²*мин);
- вертикально расположенная кромка вытяжной трубы из нержавеющей стали, покрытая слоем обгоревшей краски и ржавчиной, с вкраплениями расплавленного шлака (плотность потока β -частиц – 390-460 част/см²*мин).

СХЕМА УСТАНОВКИ ДЕЗАКТИВАЦИИ
DIAGRAM OF THE DECONTAMINATION DEVICE



Efficiency of decontamination is determined by the depth to which the surface layer of metal is destroyed and depends mainly on the operating density of electrical current and the time of treatment.

The composition of the decontamination solution depends on the condition of the surface that is being treated, i.e. the degree of corrosion, paint and lacquer coatings, greases, slime, etc.

The electrochemical decontamination device has been tested on fragments of metallic equipment with surfaces with radioactive contaminations of various natures and levels of activity. The tests were performed in laboratory conditions and in a radiochemical area that is being decommissioned.

LABORATORY TESTING

For the purposes of laboratory testing, the following metallic materials and fragments of equipment were selected contaminated with radionuclides as a result of operation:

- a lead plate with numerous dents up to 5 mm deep (deep fixed contamination; β -particles flux density of 900-1,300 particles/cm²*minute);
- a fragment of an air duct of the Fakel incineration plant, made of stainless steel, covered in a solid thick layer of soot up to 3 mm deep (β -particles flux density of up to 60 particles/cm²*minute);
- a vertically positioned edge of an exhaust pipe made of stainless steel, covered in a layer of burnt paint and rust, with inclusions of molten slag (β -particles flux density of 390-460 particles/cm²*minute).

The following decontamination solutions were used: 1M KNO₃, 0,5M HNO₃, 1% NaNO₃, 10% NaNO₃, 1% NaOH, 3% Na₂CO₃. Current density was 5-25 A/dm², with the duration of treatment from a few minutes to two hours.

The testing demonstrated efficiency and ease of operation of the device, its ability to adjust the scale of the proposed decontamination process and ability to perform cleaning on horizontal, sloping and vertical surfaces.

It was demonstrated that on a relatively clean metal surface (small amounts of corrosion products, absence of paint and organic materials), the function of the decontamination solution was limited to maintaining sufficient electric conductivity between the anode and the cathode. For such applications, solutions of sodium nitrate or potassium nitrate of various concentrations should be used, which may be recycled. If the surface of the metal bears significant amounts of corrosion products or slag (from welding, moulding, etc.), the composition of the decontamination solution should be optimised. In order to remove organics

Использовались дезактивирующие растворы 1М KNO₃, 0,5М HNO₃, 1% NaNO₃, 10% NaNO₃, 1% NaOH, 3% Na₂CO₃. Плотность тока составляла 5-25 А/дм², продолжительность обработки – от нескольких минут до двух часов.

Проведенные тестовые испытания показали удобство и эффективность установки, возможность масштабирования предложенного процесса дезактивации и проведения его на горизонтальной, наклонной и вертикальной поверхностях.

Выяснилось, что при относительно чистой поверхности металла (небольшом количестве продуктов коррозии, отсутствии краски и органических веществ) роль дезактивирующего раствора сводится к обеспечению достаточной электропроводности между анодом и катодом. В этом случае целесообразно применять растворы нитрата натрия или калия различной концентрации, которые можно использовать многократно. Если на поверхности металла много продуктов коррозии или шлаков (сварочных, литейных и т.д.), необходимо подбирать состав дезактивирующего раствора. Для удаления органических веществ типа смазки или нагара целесообразно использование щелочно-карбонатных растворов. При наличии лакокрасочных покрытий очистку можно проводить путем прокачки дезактивирующего раствора через рабочий объем присоски, без наложения постоянного электрического тока; при этом необходим индивидуальный подбор дезактивирующей композиции.

ИСПЫТАНИЯ НА ЗАГРЯЗНЕННОМ ОБЪЕКТЕ

При испытаниях на выводимой из эксплуатации радиохимической лаборатории установка была дополнена узлом очистки дезактивирующего раствора и работала по замкнутому циклу (с постоянной очисткой раствора от взвесей и радионуклидов).

Объектом испытаний стала внутренняя поверхность перчаточной камеры из нержавеющей стали. Сталь была покрыта темной пленкой и, местами, слоем продуктов коррозии, неравномерно загрязнена (уровень фиксированного загрязнения α- и β-излучающими радионуклидами варьировался в диапазоне от 102 част/см²*мин до 105 част/см²*мин). На днище камеры обнаружено «горячее» пятно с толстым слоем продуктов коррозии диаметром до 15 см (уровень загрязнения α-излучающими радионуклидами – около 2000 част/см²*мин).

Камера была полностью дезактивирована путем обработки присосками разных размеров и формы.

Поверхность дверцы разделили на девять квадратов, в центре которых произвели замеры уровней загрязнения α-излучающими радионуклидами (зафиксированный уровень загрязнения изменялся в диапазоне от 9 част/см²*мин

such as grease or scale, alkali carbonate solutions should be used. When paint or lacquer coats are present, cleaning may be performed by pumping the decontamination solution through the working volume of the vacuum cap, with no application of direct electrical current; the exact composition of the decontamination solution should be chosen individually for each application.

TESTING ON A CONTAMINATED FACILITY

During testing on an under-decommissioning radiochemical laboratory, the device was amended with a unit for purification of the decontamination solution and operated as a closed circuit (with continuous treatment of the solution to remove suspended particles and radionuclides).

The object on which the device was tested was the inner surface of the glove box made out of stainless steel. The steel was covered in a dark-coloured film and occasionally with a layer of corrosion products, with unevenly distributed contamination (with the level of fixed contamination with α- and β-emitting radionuclides varying from 102 particles/cm²*minute to 105 particles/cm²*minute). On the bottom of the box a hot spot with a thick layer of corrosion products up to 15 cm in diameter was identified (contamination with α-emitting radionuclides of approximately 2,000 particles/cm²*minute).

The box was completely decontaminated by treatment with the help of suction caps of various shapes and sizes.

The surface of the door was split into nine squares, in the centres of which measurements were taken of contamination with α-emitting radionuclides (fixed level of contamination ranging from 9 particles/cm²*minute to 270 particles/cm²*minute). The door was treated using a rectangular suction cap with working surface 2.9 dm² (fig. 1). The cap acted as the cathode, the surface as the anode.

Decontamination was performed in a sequence – sector by sector, with the caps installed so that the neighbouring sectors of the decontaminated surface would overlap by some 1-2 cm. Six sectors were treated, with the surface area totalling about 17 dm². The level of surface contamination after decontamination did not exceed 10 particles/cm²*minute.

The “hot spot” on the bottom of the box was treated using

a rectangular cap with the working surface 2.9 dm². Decontamination of the spot was performed in a number of cycles. After four cycles of decontamination, corrosion products were partially removed from the surface, and in the center the “hot spot” also retained much of the contamination with α-emitting radionuclides (12,000-100,000 particles/cm²*minute).

The last cycle of decontamination was performed using a round vacuum cap with the working surface 0.5 dm², with the cap in-

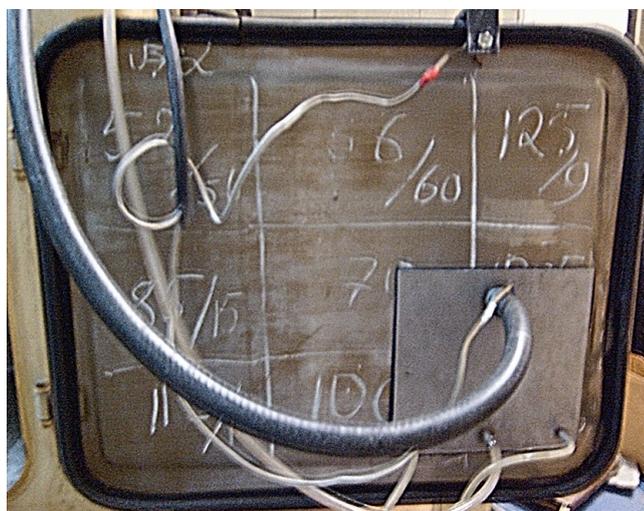


Рис. 1. Дезактивация дверцы камеры
Fig.1. Decontamination of the glove box door

до 270 част/см²*мин). Дверцу обрабатывали с помощью присоски прямоугольной формы рабочей площадью 2,9 дм² (рис. 1). Присоска служила катодом, дезактивируемая поверхность – анодом.

Дезактивацию проводили последовательно – участок за участком, при этом присоску накладывали таким образом, чтобы соседние участки дезактивируемой поверхности перекрывались на 1-2 см. Было обработано шесть участков суммарной площадью около 17 дм². Уровень загрязнения поверхности после дезактивации не превышал 10 част/см²*мин.

Участок «горячего» пятна на днище камеры обрабатывали прямоугольной присоской с рабочей поверхностью площадью 2,9 дм². Дезактивацию пятна проводили за несколько циклов. После четырех циклов дезактивации продукты коррозии частично были удалены с поверхности, а в центре пятна вскрылось значительное загрязнение α -излучающими радионуклидами (12000-100000 част/см²*мин).

Поэтому последний цикл дезактивации произвели круглой присоской с площадью рабочей поверхности 0,5 дм², при этом присоску установили точно на участок, покрытый продуктами коррозии (рис. 2). После завершения цикла продукты коррозии были полностью удалены, уровень загрязнения дезактивированной поверхности составил менее 10 част/см²*мин.

Таким образом, испытания показали следующие результаты:

- очистка металлической поверхности без коррозионного повреждения с помощью установки электрохимической дезактивации может быть достигнута за один цикл обработки в течение 15 мин.;
- при наличии коррозии необходимо добиваться ее полного удаления, для чего следует использовать оптимизированные варианты присосок;
- установка, оснащенная набором сменных присосок различного размера, может обеспечить достаточно эффективную дезактивацию загрязнений различной интенсивности и формы;
- использование установки предлагаемой конструкции позволяет проводить дезактивацию плоских поверхностей любого угла наклона, включая вертикальные и потолочные;
- процесс дезактивации с помощью данной установки не требует постоянного присутствия персонала в месте нахождения объекта дезактивации – только кратковременного, при перемещении и закреплении присоски в разных местах дезактивируемой поверхности.

Для дальнейшего развития этой технологии дезактивации предполагается разработать и изготовить мобильную установку, позволяющей проводить дезактивацию плоских горизонтальных, наклонных, вертикальных поверхностей, которая будет работать по замкнутому циклу с обеспечением очистки раствора для повторного использования. Ее использование позволит проводить дезактивацию помещений и оборудования перед фрагментацией для снижения радиационных нагрузок на персонал, а также очистку поверхностей действующего оборудования для дальнейшего безопасного использования.



Рис. 2. Дезактивация «горячего» пятна круглой присоской (внизу – поверхность после дезактивации)
Fig. 2. Decontamination of the "hot spot" using a round suction cap (downstairs the surface after decontamination)

stalled only on the location covered in corrosion products (fig. 2). After completion of the cycle, the corrosion products were removed entirely from the surfaces, with the contamination level of the decontaminated surface measuring less than 10 particles/cm²*minute.

Therefore, the testing demonstrated the following results:

- cleaning of metallic surfaces without corrosion damage using the electrochemical decontamination device can be performed in a single treatment cycle 15 minutes long;
- when corrosion is present, its complete removal must be achieved, for which optimised suction cap variants should be used;
- the device, when fitted with a set of changeable suction caps, can provide effective decontamination of surfaces with various forms and intensities of contamination;
- using the cap of the proposed design enables decontamination of flat surfaces positioned at any angle of inclination, including vertical and ceiling;
- the decontamination process effectuated by this device does not require permanent human attendance at the location of the object of decontamination – only brief personnel access is required for movement and installation of the cap to the different locations of the surface that is being decontaminated.

For further development of this decontamination technology it is proposed to design and produce a mobile plant that can be used for decontamination of flat horizontal, sloping, and vertical surfaces, which will operate in a closed circuit with a regenerating solution for re-use. The utilisation of such plant will help perform decontamination of rooms and equipment prior to fragmentation, providing reduced exposure of personnel, as well as cleaning of the surfaces of operating equipment for safer further use.