ТЕХНОЛОГИЯ ЗА ПОВЪРХНОСТНА ДЕЗАКТИВАЦИЯ НА МЕТАЛНИ РАДИОАКТИВНИ ОТПАДЪЦИ

Илиян АТАНАСОВ

*Институт по металознание, съоръжения и технологии
с Център по хидро- и аеродинамика „Акад. Ангел Балевски“,
Българска академия на науките,
бул. Шипченски проход № 67, 1574 София, България,
e-mail: ilian@ims.bas.bg*

Резюме. Разработена е технология за повърхностна дезактивация на метални радиоактивни отпадъци, генерирани на територията на АЕЦ „Козлодуй“. Технологията е комбинация от физични, химични и електрохимични методи за дезактивация. Дава възможност за обработка на отпадъци от алуминиева ламарина, черна ламарина, ламарина от неръждаема стомана, конструктивни елементи и др. с разнообразна форма и произволна конфигурация.

Ключови думи: дезактивация, повърхностна дезактивация, методи, технология.

1. УВОД

Голяма част от генерираните в АЕЦ „Козлодуй“ ЕАД метални радиоактивни отпадъци (РАО) са повърхностно замърсени и позволяват да бъдат дезактивирани в различна степен. Като изходна база за актуалното състояние на проблема в атомната електроцентрала е използван отчет по договор на тема Метални радиоактивни отпадъци в АЕЦ „Козлодуй“.

Основните радиоактивни отпадъци, намиращи се на площадката на АЕЦ, са следните [1]:

- Обикновената черна ламарина, както и алуминиевата ламарина, използвани в хидроизолацията, са на гладки листове, но се срещат и листове с намачкани ръбове. Мощността на γ лъчението на обикновената черна ламарина е $P_\gamma = 1 \div 20 \mu\text{Sv/h}$, а на повърхностното замърсяване $\beta + \gamma = 0,8 \div 10 \text{ Bq/cm}^2$. Ламарината най-често е покрита с грунд, понякога ръждясала. P_γ на алуминиевата ламарина рядко надхвърля $5 \mu\text{Sv/h}$, а повърхностното замърсяване $\beta + \gamma$ е 2 Bq/cm^2 .
- Поцинкованата и рифелната ламарина се използват за направата на различни видове метални конструкции и помощни съоръжения. P_γ е

DOI: 10.7546/EngSci.LV.18.01.06

различно в зависимост от мястото и начина на използване, но рядко надхвърля 0,1 mSv/h. Повърхностното замърсяване $\beta + \gamma$ е до 50 Bq/cm². Ламарината е силно кородирала с плътен и слабо фиксиран оксиден слой, в който е съсредоточено замърсяването.

- Ламарината от неръждаема стомана се използва за направата на технологични съоръжения – резервоари, мерници, подова и стенна облицовка и др. Радиоактивното замърсяване е различно в зависимост от радиоактивната течна среда, с която е контактувала. Повърхността е гладка, некородирала.
- Винкелът от въглеродна стомана се използва за направата на различни видове метални конструкции и помощни съоръжения, неконтактували с течна радиоактивна среда. P_γ рядко надхвърля 0,1 mSv/h. Повърхностното замърсяване $\beta + \gamma$ е до 50 Bq/cm². Винкелът е силно кородирал с плътен оксиден слой, в който е съсредоточено замърсяването.
- Тръбите от въглеродна стомана се използват за направата на различни видове инсталации и системи, в които циркулира слабо радиоактивна или неактивна среда – пара, кондензат, техническа вода. Слабо са замърсени, P_γ се движи в границите от няколко μ Sv/h. Повърхностното замърсяване $\beta + \gamma$ е няколко Bq/cm². Външните повърхности са покрити с плътен слой грунд или боя. Вътрешната повърхност е слабо или умерено кородирала с железни оксидни отлагания (накипи), в които е съсредоточено радиоактивното замърсяване.
- Тръбите от неръждаема стомана се използват за направата на различни видове инсталации и системи. Когато се демонтират от системи, в които протича слабо радиоактивна вода – чист кондензат, дестилат от изпарителните апарати, продувъчна вода от парогенераторите, замърсяването не надвишава 2 Bq/cm², а P_γ – 5 μ Sv/h. Когато се демонтират от системи, в които протича средно или високо радиоактивна вода – I контур и спомагателните системи към него, както и системите за преработка на радиоактивно замърсени води, P_γ е в интервала 0,3÷0,6 mSv/h, а повърхностното замърсяване е над 100 Bq/cm². За тръбопроводите от системата за течни РАО при кристализацията е характерно отлагане на соли от кубовия остатък (най-вече борна киселина и борати) върху вътрешната повърхност.
- Технологичната арматура постъпва в целокупен вид или във вид на отделни елементи (корпуси, уплътняващи пръстени и т.н.). Радиоактивното замърсяване е както на съответните тръбопроводи от въглеродна или неръждаема стомана. В арматурата често съществуват застойни зони, където се натрупват отлагания, и нивото на замърсяване е по-високо. Съществуват трудно достъпни повърхности.

- Елементи от оборудването, машините и съоръженията се отделят при демонтаж на технологично оборудване. Най-често са части от топлообменно оборудване и обзавеждане: помпи, топлообменници, вентилационни системи и др., крепежни елементи – шпилки, болтове, гайки; елементи от електрообзавеждането – ел. двигатели, табла, агрегати и др., оборудване на контролно-измервателни системи – предимно първични датчици, преобразуватели и др.
- Инструментите и приспособленията, използвани при ремонт на съоръженията, се бракуват, поради износване или замърсяване. Степента на замърсяване зависи от обектите, в които са използвани, и от продължителността на работата с тях.

Разнообразието на посочените метални РАО обуславя различията в конструктивно отношение размери, състояние на повърхността и степента на радиоактивно замърсяване.

Икономически целесъобразно е дезактивиране на видове и количества РАО, за които процедурата изисква по-малко средства отколкото средствата, необходими за тяхната преработка и съхранение като РАО. След тяхната дезактивация, в зависимост от степента на остатъчното радиоактивно замърсяване и установените нива за условно и безусловно освобождаване от регулаторен контрол, те могат да бъдат използвани повторно по различни предназначения.

Целта на статията е да бъде разработена технология за алкално и кисело дезактивиране с междинно измиване с обезсолена вода, преработка на отработените разтвори и циментиране на радиоактивните утайки, както и електрохимично дезактивиране и струйно почистване на метални РАО.

2. ТЕХНОЛОГИЯ ЗА ПОВЪРХНОСТНА ДЕЗАКТИВАЦИЯ НА МЕТАЛНИ РАДИОАКТИВНИ ОТПАДЪЦИ

Съгласно разработената технология, в инсталацията за повърхностна дезактивация могат да бъдат подлагани на дезактивация повърхностно замърсени метални РАО, попадащи според класификацията на Наредба № 7 на КИАЕМЦ в [2]:

- I категория, създаващи мощност на еквивалентната доза, на 0,1 m от повърхността, от $1 \cdot 10^{-3}$ до $3 \cdot 10^{-1}$ mSv/h;
- II категория, създаващи мощност на еквивалентната доза, на 0,1 m от повърхността, от $3 \cdot 10^{-1}$ до 10 mSv/h.

Използваната технология в инсталацията за дезактивация на метални радиоактивни отпадъци (ИДМРАО) е комбинация от физични, химични

и електрохимични методи за дезактивация, която отчита разнообразието на предложените за дезактивиране метални РАО [1]. Тази технология дава възможност за обработване на отпадъци от алуминиева ламарина, обикновена черна ламарина, ламарина от неръждаема стомана, конструктивни елементи и др. с разнообразна форма и произволна конфигурация. Преди подлагането на дезактивация, детайлите трябва да бъдат подготвени предварително съгласно „Инструкция за предварителна подготовка“, разработена от Възложителя, която следва да отчита необходимостта от:

- нарязване на голямоплощните детайли (например ламарина) до регламентиранияте ограничения;
- разглобяване на сложните детайли до елементи без вътрешни кухини и повърхности, които се обмиват трудно от дезактивиращите разтвори;
- пробиване на технологични отвори за стабилно закрепване на детайлите при електрохимична дезактивация.

В инсталацията се реализират следните технологии за дезактивиране на МРАО:

- струйно алкално обезмасляване;
- струйна химична дезактивация;
- електрохимична дезактивация.

Принципната схема на инсталацията е показана на *фиг. 1*. Тя е структурирана на модулен принцип [1].

Модулът 1 (М1) е предназначен за провеждане на входящ контрол на подлежащите за дезактивиране детайли, с оглед попълване на характеристиките им (материал, ниво на радиоактивност и т.н.).

В модул 2 (М2) се извършва струйно алкално обезмасляване на повърхността на постъпилите за дезактивация детайл (както алуминиев, така и стоманен от въглеродна или неръждаема стомана). Обработката на алуминиевите детайли се извършва само в този модул. Струйното алкално обезмасляване включва няколко метода за дезактивиране:

- обмиване на детайла със струя от реагент под налягане;
- ултразвуково почистване;
- химично третиране.

В модул 3 (М3) се извършва струйна химична дезактивация на преминал обработката в М2 детайл, ако резултатите не са задоволителни. Химичният реагент, чрез който се осъществява процесът на дезактивация, представлява разтвор на базата на ферихлорид.

В модул 4 (М4) се извършва електрохимична дезактивация на преминал обработка в М2 и М3 стоманен детайл, при който не са достигнати нормите за почистване.

Фиг. 1. Принципна схема на инсталацията за дезактивация на метални радиоактивни отпадъци

Fig. 1. Principal scheme of installation for decontamination of metallic radioactive waste

Модулът 5 (M5) за провеждане на радиационен контрол на дезактивирания детайл, с оглед окончателно решение относно използването му за скрап.

Модулът 6 (M6) е предвиден за неутрализация на отработените дезактивационни разтвори, с оглед по-нататъшното им допълнително третиране като радиоактивен отпадък.

Модулът 7 (M7) е за подготовка на циментовата смес и за циментиране на отпадния радиоактивен продукт от ИДМРАО във варели (60 литра) от обикновена въглеродна стомана. Варелите се поставят без пресоване в крайния опаковъчен комплект – ББ-куб. Депонирането е по установения в Цех за преработка на радиоактивни отпадъци (ЦПРАО) технологичен ред за депониране на преработени РАО в ББ-куба.

Модулът 8 (M8) е за организиране на вентилирането на технологичните обеми на отделните модули и свързване с газохода на ЦПРАО.

Модулът 9 (M9) обезпечава собствените технологични нужди на инсталацията (свежи реагенти, химически обезсолена вода (ХОВ), сгъстен въздух).

Модулът 10 (M10) е за организирано насочване на дренажните и отпадните води от инсталацията към специализацията.

Предвижда се многоциклово използване на заредените в инсталацията реагентни разтвори. За основа при изчисленията се приемат следните входни данни:

- дезактивирваните елементи се вписват в обем $500 \times 500 \times 500$ mm при общо тегло, не по-голямо от 50 kg;
- за дезактивиране на елемента трябва да бъдат снети до 20 mm от повърхността на основния метал.

2.1. Струйно алкално обезмасляване

Струйното алкално обезмасляване е предназначено за повърхностна дезактивация на алуминиеви РАО, а така също за изчистване на повърхността на стоманени РАО.

Предвиденото в инсталацията струйно алкално обезмасляване на алуминиеви и стоманени РАО включва следните методи за дезактивиране:

- обмиване на дезактивирвания елемент със струя от реагент под налягане;
- ултразвуково почистване;
- химично третиране;
- обмиване на дезактивирания елемент със струя ХОВ.

Препоръчителният състав на свежия обезмасляващ и почистващ органичните покрития разтвор е: NaOH – 30 g/l; $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ – 30 g/l; Na_2SiO_3 – 20 g/l; ПАВ – 10 g/l, [3]. Плътността на разтвора не трябва да превишава $1,2 \text{ g/cm}^3$.

При температура 50°C и обработка за 30 min алуминиевите отпадъци се очистват напълно дори при по-ниски концентрации на натриевата основа. При температура от 50°C стоманените изделия се обработват до 5 min.

Дезактивирането на алуминиевите радиоактивни отпадъци се свежда основно до разтварянето на замърсения горен слой от метала. Получава се при взаимодействието на алуминия с натриевата основа. При протичане на процеса се изменя алкалността на разтвора, поради свързването на натриевата основа и алуминия. Отделя се водород. При изчистване на повърхността на стоманени РАО водород не се отделя [4].

Критерий за реагента се явява намаляването на концентрацията на натриевата основа. При концентрация на натриева основа под 20 g/l, следва да бъде извършена корекция на работния разтвор, според стехиометричните изчисления, или същият да бъде подменен със свеж.

При спазване на приетите габаритни и тегловни данни, едновременно с това при достатъчна степен на консервативно презапасяване по големината

на обработваемата площ, алуминиевите детайли, обработени при един цикъл, могат да бъдат моделирани като 7 броя квадратни плочи с размери 500×500 mm при дебелина на всяка от тях 10 mm. Общото тегло на така моделираните за обработка детайли при един цикъл е 47,250 kg (т.е. ≈ 50 kg), а общата обработваема площ – $3,64 \text{ m}^2$.

За дезактивирането на детайлите (т.е. за отстраняването на 20 mm от повърхностния метален слой) е необходимо да бъдат отнети 196,6 g алуминий, за които е нужна 291,2 g натриева основа.

В *таблица 1* са дадени получените брой цикли, общите количества отнет метал, както и оставащият за скрап метал, всички в зависимост от количеството разтвор на NaOH, при очаквано намаляване на концентрацията от 50%.

ТАБЛИЦА 1. Изчислителни данни за алкално обезмасляване
TABLE 1. Calculation data for alkaline degreasing

Количество разтвор	Цикли, брой	Отнет Al, kg	Al за скрап, kg
200	10,3	2,0	484,7
300	15,5	3,0	729,3
400	20,6	4,0	969,3
500	25,8	5,1	1214,0
600	30,9	6,1	1454,0
700	36,1	7,1	1698,6
800	41,2	8,1	1938,6
900	46,4	9,1	2183,3
1000	51,5	10,1	2423,3

Отделеното количество водород при протичане на реакцията е 0,1111 g/(g-Al). Общото количество на отделения водород при дезактивация на алуминиевите детайли при един цикъл е:

$$G_{H_2} = 196,6 \times 0,1111 \text{ g/(g-Al)} = 21,8 \text{ g.}$$

Максималната скорост на отделяне на водорода при максимално запълнена вана е 0,045 g/s.

2.2. Струйна химична дезактивация

Струйната химична дезактивация е основен процес в технологията за почистване на стоманени РАО, която се извършва след като те са преминали през струйното алкално обезмасляване.

Химичният реагент, чрез който се осъществява процеса на дезактивация, представлява разтвор, разработен на базата на ферихлорид. Плътността на разтвора не трябва да превишава $1,2 \text{ g/cm}^3$. Този състав на реагента е избран след проведени експерименти, поради възможността му да въздейства на цялата гама от различни видове стомани, достъпността на химикалите и ниската им цена [3].

При температура от 50°C процесът на почистване продължава от 15 до 60 min. Широкият диапазон от време, за обработка на стоманените РАО, се дължи на разнообразните геометрични конфигурации и степента на радиоактивно замърсяване.

Процесите на дезактивация, при химично обработване с избрания разтвор, имат сложен характер. При разтварянето на окисните слоеве и метала се изразходват всички компоненти на разтвора. Изменението им е различно в зависимост от вида на дезактивирания детайл. При достигане на определена концентрация на отделните компоненти на разтвора, трябва да се извърши корекция на работния разтвор, според стехиометричните изчисления, или същият да бъде подменен със свеж.

При спазване на приетите габаритни и тегловни данни, едновременно с това при достатъчна степен на консервативно презапасяване по големина на обработваната площ, стоманените детайли, обработвани при един цикъл, могат да бъдат моделирани като 5 броя квадратни плочи с размери $500 \times 500 \text{ mm}$ и дебелина на всяка от тях 5 mm . Общото тегло на моделираните за обработка детайли при един цикъл е $49,125 \text{ kg}$ (т.е. $\approx 50 \text{ kg}$), а общата обработваема площ – $2,55 \text{ m}^2$. За дезактивирането на детайлите (т.е. за отстраняването на 20 mm от повърхностния метален слой) е необходимо да бъдат отнети $400,9 \text{ g}$ стомана. В *таблица 2* са дадени получените

ТАБЛИЦА 2. Изчислителни данни за алкално обезмасляване
TABLE 2. Calculation data for alkaline degreasing

Количество разтвор, л	Цикли, брой	Отнето Fe, kg	Fe за скрап, kg
200	11,6	4,6	565,2
300	17,4	7,0	847,8
400	23,2	9,3	1130,4
500	29,0	11,6	1413,0
600	34,8	13,9	1695,6
700	40,6	16,3	1978,2
800	46,4	18,6	2260,8
900	52,2	20,9	2543,4
1000	58,1	23,3	2830,9

брой цикли, общите количества отнет скрап, както и оставащият за скрап метал, в зависимост от количеството разтвор на FeCl_3 , HCl и H_2SO_4 , при очаквано 50%-но намаляване на концентрацията на HCl .

Общото количество на отделения водород, от химичната дезактивация на стоманени детайли при един цикъл, е:

$$G_{\text{H}_2} = 400,9 \times 0,0358 \text{ g/ (g - Fe)} = 14,4 \text{ g.}$$

Максималната скорост на отделяне на водорода, при максимално запълнена вана, е 0,0022 g/s.

2.3. Електрохимична дезактивация

Електрохимичната дезактивация е процес, при който повърхностният слой на стоманените РАО се отнема с електрически ток. Провежда се на стоманените РАО, които след химичната дезактивация не са достигнали нормите за почистване.

Съставът на свежия електролит е: H_2SO_4 – от 175 до 250 g/l и Na_2SO_4 – 15 g/l. Този електролит е избран, поради ефективността при дезактивация на повечето видове стомани, ниската цена, достъпност на реагентите и доказана работоспособност в инсталацията за повърхностна дезактивация на приводи АРК от СУЗ на ВВЕР-440 [4]. Основната реакция при електрохимичния процес е отделянето на водород на катода, докато на анода протичат няколко реакции, които са в пряка зависимост от приложената плътност на тока, концентрацията на електролита, количеството разтворен кислород в него и вида на обработения материал. Необходимо е да се следи да не протича реакцията с отделяне на кислород, поради намаляване на ефективността на процеса и увеличаване на разхода на електричество. Основната реакция при дезактивация е разтварянето на желязото до феройони, които впоследствие се превръщат, след взаимодействието с килорода, в ферийони.

Процесът на електрохимична дезактивация протича при температурен режим до 50 °С. Времето на третиране се променя в широк интервал, в зависимост от вида на подадения материал, начина на предварителна обработка и плътността на тока.

Критерий за степента на изразходване на компонентите на работния разтвор (електролит) е неговата електропроводност, както и концентрацията на сярна киселина в него. При концентрация на сярната киселина под 100 g/l, трябва да се извърши корекция на работния разтвор, според стехиометричните изчисления, или същият да бъде подменен със свеж.

За електрохимична дезактивация се прилагат същите екстраполации, както при химичната обработка на стоманени детайли. Количеството метал, необходимо да се отнеме от стоманения детайл с повърхност 255 dm^2 , е 400,9 g.

Препоръчителните стойности за плътност на тока при електрохимичната дезактивация са в интервала от 5 до 10 A/dm^2 . Следователно, за обработването на конкретната повърхност е необходим ток със сила от 1275 до 2550 A. При токово натоварване 1275 A (т.е., при плътност на тока 5 A/dm^2) времето за обработка на детайлите варира в интервала от 9 до 18 min. Отделеният за този период от време водород е около 12 g. Скоростта на отделянето на водорода е функция на приложеното токово натоварване и може да се регулира чрез промяна на плътността на тока. При така заложените параметри максималната скорост на отделяне на водорода е 0,0127 g/s.

2.4. Външни технологични граници и връзки

За обезпечаване на функционирането на инсталацията за дезактивация на метални радиоактивни отпадъци е необходимо да бъде свързана със системите за химично обезсолена вода, сгъстен въздух, спецканализация и технологичните връзки на цеха за преработка на радиоактивни отпадъци. Връзките на инсталацията с технологичните системи на ЦПРАО се осъществяват при модулите М9 (химично обезсолена вода и сгъстен въздух), М8 (технологични връзки) и М10 (отпадни води).

2.5. Основни операции за реализация на технологията

2.5.1. Предварителна подготовка и сортиране на МРАО

Инструкциите за предварителната подготовка на МРАО се разработват от Възложителя, като бъдат отчетени следните препоръки:

- 1) Подготовката на радиоактивните отпадъци се извършва в специализирано помещение и включва:
 - разглобяване до детайл с единична маса: за алуминиеви детайли не по-малко от 0,5 kgm, за стоманени – не по-малко от 1 kgm;
 - раздробяване до размери, позволяващи както удобно манипулиране, така и ефективност на технологията – минимални дебелини за алуминиеви детайли 5 mm, а за стоманени – 1 mm.
- 2) Сортирането на радиоактивните отпадъци се извършва в специализирани помещения, с отчитане на различни критерии като:

- вид на детайла;
- материал на детайла (алуминий, стомана или неръждаема стомана)
- мястото, където е бил използван;
- предполагаемо замърсяване (повърхностно или обемно);
- размери;
- повърхност;
- маса;
- резултати от първичната оценка на радиоактивното замърсяване;
- състояние на повърхността (кородирала, боядисана, омаслена и т.н.);
- мястото, на което е бил съхраняван.

3) Разпределят се подготвените отпадъци за зареждане на модулите. Захваща се всеки детайл на съответната щипка на работния капак на дезактивиращия модул.

2.5.2. Дезактивиране на детайли от алуминий

Дезактивирането на алуминиеви детайли се извършва само в М2 по следните процедури:

1. Работният капак с окачените детайли се пренася до модула за струйно обезмасляване М2. Пренасянето се извършва посредством крана в цеха за дезактивация.
2. Ваната на модула се затваря с капака.
3. Изпълняват се условията и се извършват операциите за режим „дезактивация“ в М2.
4. След извършване на всички операции за режим „дезактивация“ в М2, се спира вентилационната система за технологична сдвук на ваната на М2.
5. Освобождава се капакът с детайлите от ваната на модула.
6. Посредством крана капакът с детайлите се пренася до предварително отворената камера на М5 (за изходящ радиационен контрол) за измерване.

При положителен резултат от изходящия радиационен контрол, детайлите се отделят за освобождаване от зоната със „строг“ режим.

Ако след обработка в М2 резултатът от изходящия радиационен контрол е отрицателен, неизчистените детайли се отделят или насочват за повторна дезактивация в М2.

2.5.3. Дезактивиране на детайли от въглеродна стомана

Детайлите от въглеродна стомана преминават обработка най-напред в М2, съгласно процедурите 1–6 от Параграф 2.5.2. При положителен резултат от изходящия радиационен контрол, детайлите се отделят за освобождаване от зоната със „строг“ режим.

Ако след обработка в М2 резултатът от изходящия радиационен контрол е отрицателен, детайлите се насочват за химична дезактивация в М3. Процедурите за провеждане на химична дезактивация са аналогични на тези при обработката в М2, а именно:

1. Посредством крана работният капак с окачените детайли се пренася до модула за химична дезактивация М3.
2. Ваната на модула се затваря с капака.
3. Изпълняват се условията и се извършват всички операции за режим „дезактивация“ с М3.
4. След извършване на всички операции за режим „дезактивация“ в М3, се спира вентилационната система за технологична сдвукка на ваната на М3.
5. Освобождава се капакът с детайлите от ваната на модула.
6. Посредством крана капакът с детайлите се пренася до предварително отворената камера на М5 (за изходящ радиационен контрол) за измерване.

При положителен резултат от изходящия радиационен контрол, детайлите се отделят за освобождаване от зоната със „строг“ режим.

Ако след обработката в М3 резултатът от изходящия радиационен контрол е отрицателен, неизчистените детайли се отделят за провеждане на електрохимична дезактивация в М4. Процедурите са следните:

1. Посредством крана работният капак с окачените детайли се пренася до модула за електрохимична дезактивация М4.
2. Ваната на модула се затваря с капака.
3. Изпълняват се условията и се извършват всички операции за режим „дезактивация“ с М4.
4. След извършване на всички операции за режим „дезактивация“ с М4, се спира вентилационната система за технологична сдвукка на ваната на М4.
5. Освобождава се капакът с детайлите от ваната на модула.
6. Посредством крана капакът с детайлите се пренася до предварително отворената камера на М5 (за изходящ радиационен контрол) за измерване.

При положителен резултат от изходящия радиационен контрол, детайлите се отделят за освобождаване от зоната със „строг“ режим [5].

Ако и след обработка в М4 резултатът от изходящия радиационен контрол е отрицателен, неизчистените детайли се отделят за повторна химична дезактивация в М3.

2.5.4. Дезактивиране на детайли от неръждаема стомана

Детайлите от неръждаема стомана също преминават обработка най-напред в М2, съгласно процедурите „1“–„6“ от Параграф 2.5.2. При положителен резултат от изходящия радиационен контрол, детайлите се отделят за освобождаване от зоната със „строг“ режим.

Ако след обработка в М2 резултатът от изходящия радиационен контрол е отрицателен, детайлите се насочват за провеждане на електрохимична дезактивация в М4 съгласно процедурите „1“–„6“ от Параграф 2.5.3 по-горе. След обработката в М4 и при положителен резултат от изходящия радиационен контрол, детайлите се отделят за процедури по освобождаване от зоната със „строг“ режим.

Ако след обработка в М4 резултатът от изходящия радиационен контрол е отрицателен, неизчистените детайли се насочват или отделят за повторна електрохимична дезактивация в М4.

2.5.5. Изходящ радиационен контрол на дезактивирваните детайли

След всяко обработване в режим „дезактивация“ в М2, М3 или М4, детайлите се подлагат на радиационен контрол в камерата на М5. Радиационният контрол се извършва в следния порядък:

1. От камерата се сваля сервизният капак.
2. Детайлите, закачени на работния капак, се поставят в нея.
3. Провежда се измерването и се прави сравнителен анализ на резултатите, като:
 - a) При измерена стойност, по-ниска от допустимата (регламентирана в Технологичния регламент и/или Инструкцията за експлоатация), детайлите се отделят за освобождаване от зоната със „строг“ режим.
 - b) При измерена стойност, по-висока от допустимата, капакът с детайлите се повдига и с портативен радиометър се определят замърсените детайли. Неизчистените детайли се отделят за по-нататъшно или повторно третиране, а почистените за процедури по освобождаване от зоната със „строг“ режим.
4. Камерата се затваря със сервизния капак.

2.5.6. Третиране на дезактивирани МРАО

Дезактивирани детайли, чийто резултат от изходящия радиационен контрол е положителен, могат да бъдат поставени в радиационно чисто промишлено метално палé с габарити 800 × 1200 × 500 mm. Детайлите се маркират за процедури по освобождаване от контрол.

В рамките на цеха металното палé с дезактивирани детайли може да се транспортира до съответния приемателен пункт чрез вътрешно-цеховата палетна количка.

2.5.7. Третиране на работните разтвори

След всеки 10 работни цикъла на М2 и М3 и след всеки 20 работни цикъла на М4, от работните резервоари се вземат проби от разтвора за измерване на електропроводимостта и концентрацията на реагентите. При достигане на стойности, зададени в „Инструкцията за експлоатация“, разтворът се регенерира, като в резервоара се долива предварително изчислено количество концентриран реагент.

Работният разтвор на М2, М3 и М4 се заменя с нов когато:

- възможностите за регенерирането му са изчерпани (т.е. свободният обем за доливане на свеж концентрат е изчерпан);
- обемната му активност надвиши стойността, регламентирана в Технологичния регламент и/или Инструкцията за експлоатация.

Подлежащият на смяна разтвор в резервоара следва да се счита за отработен.

Чрез изпълнение на операциите, описани в „Инструкцията за експлоатация“ за режим „Разтоварване на резервоара“, отработеният разтвор се изхвърля в резервоар-утаителя на М6.

При зареждане на модула със свеж работен разтвор, в резервоара му се оставя начален свободен обем за доливане, който трябва да бъде около 100 литра за М2 и М3 и около 50 литра за М4.

Отработеният разтвор се подлага на крайна обработка в М6 и М7 съгласно процедурите, описани в инструкцията за експлоатация.

2.5.8. Третиране на радиоактивния отпадък от ИДМРАО, подлежащ на съхранение

Крайният радиоактивен отпадък е филтърният елемент (филтриращо платно) с наслоения по него кек (около 3–5 литра) от уплътнителя на утайката в М6.

В рамките на помещението за дезактивация, третирането на отпадъка включва последователно следните операции:

- изваждане на отпадъка от уплътнителя на М6 и поставянето му в празен варел;
- транспортиране на варела с отпадъка до М7;
- запълване на варела с циментова смес и временно затваряне с прилежащия му капак;
- отстояване на варела до втвърдяване на циментовата смес в състояние, годно за транспортиране до транспортната лента на инсталацията за твърди РАО в ЦПРАО;
- затваряне и маркиране на варела, че не подлежи на пресоване.

По-нататъшното третиране на циментирания във варела отпадък е извън помещението за дезактивация и включва:

- транспортиране на варела до транспортната лента на инсталацията за твърди РАО в ЦПРАО за контрол и отчет;
- провеждане на контрол и отчет (включително маркировка на варела за мощност на дозата), съгласно технологичния регламент за обработените твърди РАО в ЦПРАО;
- депониране на варела, без той да бъде пресован, в крайния опаковъчен комплект ББ-куб; депонирането се извършва в съответствие с установения в ЦПРАО технологичен ред за депониране на преработени РАО в ББ-куба.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработената технология напълно отговаря на поставената цел, като дава възможност за алкално и кисело дезактивиране с междинно измиване с обезсолена вода, има система за преработка на отработените разтвори и циментиране на радиоактивните утайки, също така има възможност за електрохимично дезактивиране и съответното електрическо захранване, както и устройство за струйно почистване на метални РАО.

REFERENCES

- [1] K. BOURIN, V. ANGELOV, S. VODENICHAROV AND I. IVANOV, *Installation for Decontamination of Metallic Radioactive Waste* (in Bulgarian), http://www.idea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/37/038/37038498.pdf

- [2] Regulation No 7/07.01.1992 of the Committee for the Use of Atomic Energy for Peaceful Purposes on the Collection, Storage, Processing, Warehousing, Transport and Disposal of Radioactive Waste on the Territory of the Republic of Bulgaria (in Bulgarian).
- [3] Basic Radiation Protection Standards (BRPS–2000) (in Bulgarian).
- [4] I. ATANASOV, Decontamination of Metallic Surfaces with Degreasing Solutions, *Engineering Sciences* (2003) **XL** (3–4) (in Bulgarian).
- [5] N. I. AMPELOGOVA, M. SIMANOVSKI AND A. A. TRAPEZNIKOV, *Decontamination in Nuclear Power Engineering*, Energoizdat, Moscow (1982) (in Russian).

SURFACE DECONTAMINATION TECHNOLOGY OF METALLIC RADIOACTIVE WASTE

ILIYAN ATANASOV

*Institute of Metal Science, Equipment and Technologies
with Hydro- and Aerodynamics Centre “Acad. Angel Balevski”,
Bulgarian Academy of Sciences,
67, Shipchenski Prohod Blvd, 1574 Sofia, Bulgaria,
e-mail: ilian@ims.bas.bg*

Summary. A technology for surface decontamination of metallic radioactive waste generated on the territory of “Kozloduy” NPP is developed. The technology is combination of physic, chemic and electro-chemical methods of decontamination. Waste from aluminum sheet, black sheet metal, stainless steel sheet, structural elements and others with varied shape and random configuration can be processed.

Keywords: decontamination, surface decontamination, methods, technology.

Received December 14, 2017