СЪОРЪЖЕНИЯ 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. Проектирани са съоръженията на инсталация за повърхностна дезактивация на метални радиоактивни отпадъци на основата на разработена технология. Съоръженията са структурирани на модулен принцип, според функционалното предназначение на технологичните единици. Основните модули са за струйно алкално обезмасляване, струйна химична дезактивация и електро-химична дезактивация. Проектирани са също спомагателните съоръжения за неутрализация, утаяване и циментиране.

Ключови думи: съоръжения, струйна химична дезактивация, електро-химична дезактивация, 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. Разработена е 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 [1].

Целта на статията е да бъдат проектирани съоръженията на инсталацията за повърхностна дезактивация на метални радиоактивни отпадъци (ИДМРАО), на основата на разработената технология, при спазване на изискванията по техника на безопасност и охрана на труда, нормите по противопожарна охрана, изискванията за ремонтпригодност и техническо обслужване. Проектирането на съоръженията е съобразено с оптималното използване на площадката на Цех за преработка на радиоактивни отпадъци (ЦПРАО).

DOI: 10.7546/EngSci.LV.18.02.03

Съоръженията са структурирани на модулен принцип, според функционалното предназначение на съставните технологични единици. Монтажът на всички видове машини и съоръжения е взаимнообвързан [2, 3, 4].

Изборът на материали е съобразен с предназначението на отделните съоръжения, вида на работните флуиди, работните налягания и температури, характера на операциите, извършвани в отделните модули.

Оборудването на инсталацията е разположено на няколко нива, като за съоръженията, разположени над кота +1,30 m, са изградени обслужващи площадки със стълби и предпазни ограждения.

При разработването на модулите са взети необходимите мерки за осигуряване на нормалното им функциониране, в т.ч. преливници, предпазни и работни филтри, дренажни кранове и др. Около модулите за дезактивация, неутрализация и резервоарите за концентрирани разтвори са изградени предпазни корита за предотвратяване на разлив на работния агент.

За осигуряване на нормалната работа на системата за циментиране, на силоза за цимент са монтирани аерираща система и конус против засводяване, предотвратяващи слягането на цимента и осигуряващи надеждната му работа. За защита от атмосферни влияния, силосът е разположен в помещението на инсталацията, съоръжен е с филтър, осигуряващ защита от разпространението на прах, също с клапа за свръхналягане, предпазваща от повишаване на налягането при зареждане с пневмотранспорт.

Смесителят за циметова смес, монтиран под силоза, осигурява възможност за автоматизиране на процеса за циментиране на РАО, съкращавайки времето за престой на персонала около варелите с РАО.

За обезпечаване проектното функциониране на инсталацията е необходимо тя да бъде свързана със системите за химически обезсолена вода (ХОВ), сгъстен въздух, спецканализацията и технологичните сдувки на цеха за преработка на радиоактивни отпадъци. Връзките на инсталацията с технологичните системи на ЦПРАО се осъществяват при нейни отделни модули, а именно при модулите М9 (по ХОВ и сгъстен въздух), М8 (по технологични сдувки) и М10 (по отпадни води).

2. СЪОРЪЖЕНИЯ ЗА ПОВЪРХНОСТНА ДЕЗАКТИВАЦИЯ НА МЕТАЛНИ РАО

Технологичните съоръжения и конструкции в инсталацията са структурирани на модулен принцип в зависимост от функционалното им предназначение.

В модул 1 (M1) се провежда входящ контрол на подлежащите за дезактивиране детайли, с оглед попълване на характеристиките им (материал, ниво на радиоактивност и т.н.).

В модул 2 (M2) се извършва струйно алкално обезмасляване на повърхността на постъпилия 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: (i) обмиване на детайла със струя от реагент под налягане; (ii) ултразвуково почистване; (iii) химическо третиране.

Модулът 3 (M3) е за струйна химична дезактивация на преминал обработката в M2 детайл от въглеродна стомана, ако резултатите не са задоволителни. Химическият реагент за дезактивация е смес от солна и сярна киселина.

Модулът 4 (M4) се използва за електрохимична дезактивация на преминал обработка в M2 и M3 стоманен детайл, при който не са достигнати нормите за почистване.

В модул 5 (M5) се провежда радиационен контрол на дезактивирания детайл, с оглед окончателно решение относно използването му за скрап.

В модул 6 (M6) се неутрализират отработените дезактивационни разтвори, с оглед по-нататъшното им допълнително третиране като радиоактивен отпадък.

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

В модул 8 (M8) се организира вентилацията на технологичните обеми на отделните модули и изхвърлянето на сдвуките в газохода на ЦПРАО.

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

В модул 10 (M10) организирано се насочват дренажните и отпадните води от инсталацията към спецканализацията на помещението за дезактивация.

При отделните модули се предвиждат както стандартно произведени за химическата промишленост елементи (вентили, помпи и др. агрегати), така и специално конструирано (нестандартно) оборудване (вани, резервоари, скрубери и др.).

Изборът на конструкционни материали, включително покрития, за оборудването и елементите (стандартни и нестандартни) е направен в зависимост от тяхната устойчивост при дадената работна среда.

Предвижда се нестандартното оборудване да бъде оразмерено срещу динамични сили, възникващи от сеизмично въздействие с ниво до проектно земетресение за условията на площадката на АЕЦ „Козлодуй“.

Под модулите, които съдържат агресивни радиоактивни разтвори, са предвидени технически мерки срещу евентуални разливи (ванни конструкции).

Трите основни съоръжения за дезактивация са: модулет за струйно алкално обезмасляване (М2), модулет за струйна химична дезактивация (М3) и модулет за електро-химична дезактивация (М4). Те са три еднотипни модула по форма и размери, затова е разгледан един от тях – този за електро-химична дезактивация.

2.1. Модул за електро-химична дезактивация М4

Модулет, показан на *фиг. 1*, има габаритни размери $1990 \times 3130 \times 2750$ mm и сумарно приблизително тегло $M = 2010$ kg. В него е включено следното оборудване:

- вана 4.1;
- резервоар за работен разтвор 4.2;
- помпа за работен киселинен разтвор 4.3 – дебит $Q = 1$ l/s, работно налягане $P_{ном} = 0,15$ МПа, мощност на електродвигателя $W = 0,5$ kW;
- помпа прехвърляща 4.4 – дебит $Q = 1$ l/s, работно налягане $P_{ном} = 0,15$ МПа, мощност на електродвигателя $W = 1,1$ kW;
- филтър шламов 4.5;
- токоизправител 4.6 – инсталирана мощност $W = 18$ kW;
- електронагревател 4.7 – сумарна мощност $W = 3$ kW;
- хидрозатор-преливник на ваната 4.8;
- хидрозатор-преливник на резервоара 4.9;
- аварийен изпускателен вентил 4.10;
- електрифицирани вентили 4.11– 4.20;
- баланс клапа 4.21;
- вентили спирателни 4.23, 4.26;
- вентили дренажни 4.24–4.25;
- капак на ваната 4.28.

Към модула са подадени: тръбопровод от резервоара на ХОВ за измиване на детайлите; тръбопровод за сгъстен въздух за изсушаване на детайлите; тръбопровод от резервоара за концентрирана H_2SO_4 ; тръбопровод

Фиг. 1. Модул за електро-химична дезактивация М4
Fig. 1. Module for electrochemical decontamination M4

Фиг. 2. Вана за електро-химична дезактивация
Fig. 2. Vat for electrochemical decontamination

към технологичните сдвукки на резервоарите; тръбопровод към скрубера на М4; захранващо напрежение 220/380V; тръбопровод към спецканализацията.

Ваната 1 (fig. 2) има цилиндрична форма с диаметър 810 mm и височина 1990 mm, конусно дъно, работен обем 0,30 m³ и пълен обем 0,52 m³. Изработена е от неръждаема ламарина – AISI 304. В нея са монтирани разпределителният колектор 2 с шест броя държачи 4 с по петнадесет броя дюзи, разпределени равномерно по цялата работна дължина на ваната, изработени от PVC, разпределителният колектор 10 и отворът за аварийно източване. По периферията на ваната са разположени шест броя плочи, окачени на куки 11, които служат за анод на ваната. На височина 610 mm от дъното е разположен преливен аварийен отвор с диаметър 70 mm. Ваната е монтирана с винтови съединения на самостоятелната стойка 3, изработена от П-профил 14, БДС 6176-75. В горния край на ваната, на височина 950 mm от дъното, са пробити тридесет и шест вентилационни отвори с диаметър 40 mm, събрани във вентилационния колектор 9. За защита от директно попадане на струя от работния флуид във вентилационните отвори, е монтиран екраниращият пръстен 6. Ваната е съоръжена с нивомерна

Фиг. 3. Резервоар за работен киселинен разтвор

Fig. 3. Reservoir for working acid solution

арматура 8 за следене на нивото, изработена от PVC. За осигуряване на правилното поставяне на капака, на ваната са монтирани центриращият конус 5 и фиксаторът 7. Към ваната е монтиран хидрозатворът-преливник, осигуряващ аварийна връзка между ваната и резервоара. Хидрозатворът се задейства при повишаване на налягането във ваната спрямо това на резервоара с $\Delta P = 20$ kPa. Общата маса на ваната е 465 kg.

Резервоарът 1, изработен от неръждаема ламарина AISI 304, има обем $0,9 \text{ m}^3$, *фиг. 3*. Капакът 2, изработен от същия материал, е захванат към резервоара 1 посредством болтови съединения. За осигуряване на херметичност между тях служи уплътнението 5 от PTFE тефлон. На капака 2 е монтиран с болтови съединения ревизионният капак 3, за херметичност е поставено уплътнението 6. Капакът 3 осигурява достъп до предпазния филтър 4. В резервоара са монтирани общо четири нагревателя 7 с единична мощност $P_{ED} = 0,750 \text{ kW}$, както и терморегулираща и контролираща апаратура. Към резервоара е монтиран хидрозатворът-преливник, осигуряващ аварийна връзка със системата за дренажни и отпадни води. Хидрозатворът се задейства при повишаване на налягането спрямо атмосферното с $\Delta P = 20$ kPa. Габаритните размери на съоръжението са

Фиг. 4. Капак на ваните за дезактивация
Fig. 4. Cover of the vats for decontamination

2316×753×630 mm и маса 220 kg.

Капакът на ваните е съоръжение с изключителна важност за осъществяване транспорта на третирани детайли между отделните модули (*фиг. 4*). Капакът на ваните за дезактивация има дискова форма с диаметър 860 mm, изработен от неръждаема ламарина – AISI 304. В центъра на капака е монтиран аксиалният лагер 6. Носещият пръстен 2 е закрепен с четири спици към оста на лагера. В горния край на оста е навит, посредством резба М20, захващащият конус 3, осигурен срещу саморазвиване чрез щифт. Оста е електроизолирана от капака чрез втулката 4, изработена от тefлон. Уплътняването на пространството около лагера се осигурява от уплътнението 5. Масата на капака е 30 kg.

При зареждането на капака с детайли се монтира клапан за подналягане. Поставянето на капака върху ваната на съответния модул е еднозначно ориентирано посредством жлеб на капака и фиксатор на ваната.

2.2. Модул за неутрализация и утаяване М6

Модулът (*фиг. 5*) има габаритни размери 4325×1990×1500 mm и включва следното оборудване:

- бак за неутрализация 6.1 – $P_{\text{раб.}} = \text{atmospheric pressure}$, $V = 2,0 \text{ m}^3$;
- междинен резервоар 6.2 – $P_{\text{раб.}} = \text{atmospheric pressure}$, $V = 0,08 \text{ m}^3$;
- помпа циркулационна 6.3 – дебит $Q = 1 \text{ l/s}$, налягане $P_{\text{ном}} = 0,15 \text{ МПа}$, мощност на електродвигателя $W = 1,1 \text{ kW}$;
- помпа за отпаден разтвор 6.4 – дебит $Q = 1 \text{ l/s}$, налягане $P_{\text{ном}} = 0,15 \text{ МПа}$, мощност на електродвигателя $W = 1,1 \text{ kW}$;
- хидрозатвор-преливник на бака за неутрализация 6.5;
- хидрозатвор-преливник на междинния резервоар 6.6;
- електрифицирани вентили 6.7–6.10.

Към модула са подадени: линия за отработен алкален разтвор от М2; линии за отработени киселинни разтвори от М3 и М4; тръбопровод от резервоара за ХОВ; захранващо напрежение 220/380V; вентилационна система; тръбопровод към спецканализацията; тръбопроводи от скрубери на М2, М3 и М4; тръбопровод от резервоара за концентриран алкален разтвор; тръбопровод от резервоара за концентрирана H_2SO_4 .

Бакът за неутрализация 6.1, изработен от неръждаема ламарина AISI 304, има работен обем 2 m^3 , също капак, към който са подвързани линиите за отпаден разтвор от модулите и скрубери на съответните модули. На капака се намира отворът на аспирационната линия. На стените на бака са разположени: входящият отвор за циркулационната помпа 6.3, входящият отвор за ХОВ и входящите отвори на линиите за корекция на раз-

Фиг. 5. Модул за неутрализация и утаяване М6
Fig. 5. Module for neutralization and sedimentation M6

твора. Към резервоара е монтиран хидрозатворът-преливник, осигуряващ аварийна връзка със системата за дренажни и отпадни води. Хидрозатворът се задейства при повишаване на налягането спрямо атмосферното с $\Delta P = 20 \text{ kPa}$. Изделието има габаритни размери $\varnothing 1500 \text{ mm}$ и височина 1500 mm , масата е 460 kg .

2.3. Модул за циментиране М7

Модулът, *фиг. 6*, има габаритни размери $3180 \times 2850 \times 2200 \text{ mm}$ и включва:

- силос за суха циментова смес 7.1;
- шнек-смесител 7.2 – производителност $Q = 20 \div 30 \text{ l/min}$, работна мощност $W = 2 \text{ kW}$, налягане на водата $P = 0,25 \text{ MPa}$;
- тензометрична поставка за варели 7.3;
- ръчни вентили 7.4 $\div$ 7.5;
- електрифициран вентил 7.6;
- линия за ХОВ 7.7;
- тензометрични датчици 7.8 – обхват $0 \div 50 \text{ kg}$;
- система за запълване 7.9;
- апарат за зареждане на силоза чрез пневмотранспорт 7.10.

Силозът за суха циментова смес 7.1 е монтиран на собствена носеща конструкция в помещението на инсталацията. На него са монтирани аварийна клапа, филтър, клапан за свръхналягане, датчик за долно и горно ниво и пневмотранспортна система за зареждане 7.9. Силозът с монтираните на него съоръжения има маса 800 kg и полезен обем 1 m^3 .

На поставката за варели 7.3, изработена от метални профили, са монтирани тензометричните датчици 7.8 за следене теглото на варела при запълване. Съоръжението е метална конструкция с маса 150 kg .

Шнекът-смесител 7.2 е закрепен както към силоза, така и в предния си край на собствена стойка към пода на помещението за дезактивация.

Апаратът за зареждане на силоза е мобилно съоръжение. При зареждане на силоза, апаратът се придвижва до определеното за тази цел място, което е извън цеха – до външната стена на помещението за дезактивация. Циментовата смес се подава ръчно от чували в приемния бункер на апарата. Посредством ежектор и сгъстен въздух, циментовата смес се флуидизира и транспортира в силоза. Източникът на сгъстен въздух за апарата е едноименната система на цеха.

Отработеният от ИДМРАО радиоактивен отпадък се поставя във варели и се залива с циментираща смес.

Фиг. 6. Модул за циментиране M7
Fig. 6. Module for cementation M7

Варелите за циментиране на радиоактивния отпадък са 60 литрови от въглеродна стомана. Модулът е захранен с вода, сгъстен въздух и напрежение 220/380 V.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работен режим, проектираните съоръжения на инсталацията за повърхностна дезактивация на метални радиоактивни отпадъци осигуряват 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 при спазване на изискванията по техника на безопасност и охрана на труда, нормите по противопожарна охрана, изискванията за ремонтпригодност и техническо обслужване.

REFERENCES

- [1] I. ATANASOV. Surface Decontamination Technology of Metallic Radioactive Waste, *Engineering Sciences* (2018) **LV** (1) 72–87 (in Bulgarian).
- [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] N. I. AMPELOGOVA, M. SIMANOVSKI AND A. A. TRAPEZNIKOV. *Decontamination in Nuclear Power Engineering*, Energoizdat, Moscow (1982) (in Russian).

SURFACE DECONTAMINATION EQUIPMENT 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*

Abstract. The equipment for the surface decontamination installation of metallic radioactive waste is designed based on the developed technology. The facilities are structured on a modular principle, according to the functional purpose of the technological units. The main modules are for a jet alkaline degreasing, a jet chemical decontamination and an electrochemical decontamination. The auxiliary facilities for neutralization, sedimentation and cementing are designed also.

Keywords: equipment, electrochemical decontamination, a jet chemical decontamination, technology.

Received December 24, 2017