

Proporcingumo daugiklių metodas radioaktyviosioms atliekoms charakterizuoti

Aurimas Tonkūnas,

Raimondas Pabarčius

*Lietuvos energetikos institutas,
Branduolinių įrenginių saugos laboratorija,
Breslaujos g. 3
LT-44403 Kaunas
El. paštas aurimas.tonkunas@lei.lt*

Radioaktyviųjų atliekų charakterizavimas – vienas iš sudėtinių AE objektų išmontavimo etapų planuojant susikaupusių radioaktyviųjų atliekų tvarkymą. Išmontuojami įrenginiai yra smulkinami ir talpinami į atitinkamas pakuotes, kurios pirmiausia yra perkeliamos į laikinas saugojimo zonas, o vėliau nukreipiamos į galutinės atliekų saugyklas. Kad būtų galima patikrinti, ar nėra viršijami priimtino kriterijai ir užtikrinama sauga, prieš transportuojant užpildytas pakuotes svarbu įvertinti atliekose sukauptą radionuklidų savitąjį aktyvumą. Vienas efektyviausių būdų nustatyti svarbiausių radionuklidų koncentracijas pakuotėje yra proporcingumo daugiklių (arba nuklidinio vektoriaus) metodas. Naudojant gama spektroskopiją arba pagal atliekų pakuotės paviršinę dozės galią kiekvienai atliekų pakuotei yra apskaičiuojamas parinktas pagrindinio radionuklido aktyvumas. Likusių sunkiai matuojamų radionuklidų koncentracijos yra įvertinamos naudojant iš anksto nustatytus atitinkamus proporcingumo daugiklius įvairiems radionuklidams. Šiame straipsnyje apžvelgiami labiausiai paplitę metodai vertinant svarbiausių radionuklidų koncentracijas radioaktyviųjų atliekų pakuotėse, šiek tiek plačiau pristatomas labiausiai paplitęs proporcingumo daugiklių metodas.

Raktažodžiai: nuklidinis vektorius, proporcingumo daugiklis, radioaktyviosios atliekos

ĮVADAS

Branduolinė energetika pasaulyje plėtojama jau daug metų. Vienos branduolinės jėgainės baigia savo projektinę eksploataciją, kitos uždaromos dėl sugriežtėjusių saugos reikalavimų, trečios – dėl įvykusių avarių. Vykdam šią veiklą neišvengiamai susidaro dideli radioaktyviųjų atliekų kiekiai, kuriuos būtina saugiai sutvarkyti ir ilgą laiką prižiūrėti. Prieš transportuojant atliekas į saugyklas būtina jas charakterizuoti, t. y. įvertinti atliekose esančio radioaktyvaus turinio sudėtį, išreikštą specifinių

radionuklidų koncentracijomis. Ši informacija yra svarbi projektuojant ir pagrindžiant radioaktyviųjų atliekų laidojimo įrenginius ir suteikia galimybę kontroliuoti atliekų atitikimą priimtino kriterijams [1]. Atliekant kapinyno saugos vertinimą, identifikuojami svarbiausi radionuklidai, turintys didžiausią įtaką vertinant poveikį žmogui. Paprastai – tai ilgaamžiai radionuklidai, kurių savitasis aktyvumas laikui bėgant nesumažėja iki nepavojingo lygio, ir jie pasklinda kapinyno aplinkoje.

Daugumos svarbių ilgaamžių radionuklidų aktyvumai radioaktyviosiose atliekose dėl jų

skleidžiamos žemų energijų spinduliuotės (alfa, beta) yra sunkiai išmatuojami arba, esant aktyvumui mažesniai už detektavimo ribą, jų tiesiog neįmanoma išmatuoti iš atliekų pakuotės išorės. Taikant destruktivius ėminių paėmimo metodus ir radiocheminę analizę, nuklidinę sudėtį galima nustatyti, tačiau esant dideliame atliekų pakuočių kiekiui, toks nuklidų sudėties identifikavimo būdas yra nepraktiškas. Daugumoje šalių yra taikomas proporcingumo daugiklių metodas sunkiai matuojamo aktyvumo nuklidų turiniui atliekų pakuotėje nustatyti [2]. Taikant šį metodą, tiesioginiu būdu yra išmatuojami izotopai, spinduliuojantys didelės energijos gama spindulius, o likusiųjų radionuklidų koncentracijos nustatomos remiantis funkcinę priklausomybę nuo matuojamo nuklido koncentracijos. Proporcingumo daugiklių metodas plačiai taikomas labai mažo ir vidutinio aktyvumo radioaktyviosioms atliekoms charakterizuoti.

Nuo eksploataavimo pradžios iki eksploataavimo nutraukimo 2009 m. Ignalinos AE saugyklose sukaupta daug radioaktyviųjų atliekų, iš jų 60 tūkst. m³ yra labai mažo aktyvumo radioaktyviosios atliekos. Pasirinkus nedelsiamą IAE išmontavimo strategiją, pirmojo ir antrojo energijos blokų įrangos ir pastatų išmontavimo darbų pabaiga numatyta 2029 metais. Per šį laikotarpį susidarys papildomi atliekų kiekiai. Labai mažo aktyvumo trumpaamžėms radioaktyviosioms atliekoms saugoti numatyta įrengti „Landfill“ tipo kapinyną. Prieš pervežant atliekas į kapinyną, jos laikinai bus kaupiamos specialioje buferinėje saugykloje, kurioje įrengtos radiologinio atliekų matavimo, atliekų transportavimo bei laikinojo sandėliavimo sistemos. Todėl radioaktyviųjų atliekų koncentracijų nustatymas ir kontroliavimas, o taip pat teisingai ir pagrįstai taikoma vertinimo metodika, yra svarbi ir būtina priemonė saugiai tvarkyti radioaktyviąsias atliekas.

Savitojo aktyvumo nustatymo metodai

Nuklidinio vektoriaus nustatymo metodai remiasi tiesioginiais matavimais ar netiesioginiais, pusiau empiriniais duomenimis, įvardijamais kaip reprezentatyvaus spektro, proporcingumo daugiklio ar analitiniais metodais.

Tiesioginio matavimo metodu lengviausiai išmatuojami didelės energijos gama kvantus spinduliuojantys nuklidai, kurie dar vadinami atrami-

niais. ⁶⁰Co, ¹³⁷Cs, ¹⁴⁴Ce ir ¹²⁵Sb nuklidus praktiškai galimi naudoti kaip atraminiai, jie pasižymi ilga pusėjimo trukme. Tačiau tik nedaugelis iš sunkiai matuojamo aktyvumo nuklidų gali koreliuoti su minėtais atraminiais nuklidais, remdamiesi tik jų susidarymo mechanizmų panašumu, fizine ir chemine elgsena.

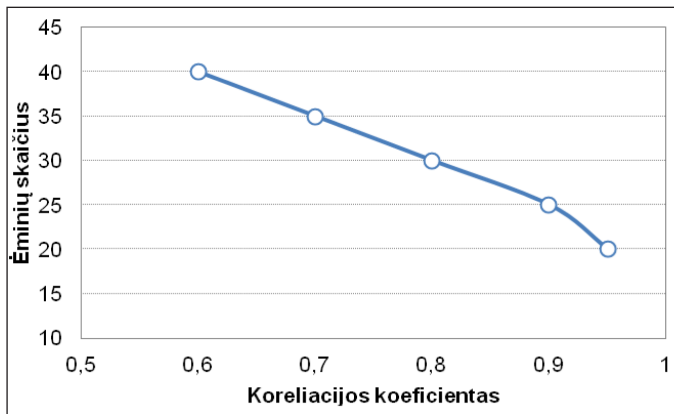
Vienas plačiausiai taikomų netiesioginių metodų – proporcingumo daugiklio metodas (naudojamas ir Ignalinos AE radioaktyviosioms atliekoms charakterizuoti) [3]. Metodas remiasi tuo, kad iš to paties šaltinio kilusiems ir panašiomis fizinėmis ir cheminėmis savybėmis pasižyminčioms radionuklidams pernašos į atliekas metu turi išlikti panašus savitųjų aktyvumų santykis. Šis santykis nustatomas suvidurkinus atliktų tiesioginių matavimų duomenis ir destruktivinių metodų pagalba gautus rezultatus. Išmatavus lengvai matuojamo aktyvumo radionuklidą K_{AN} , kitų radionuklidų savitieji aktyvumai K_{NN} apskaičiuojami taikant nustatytą santykį:

$$K_{NN} = \frac{1}{n} \sum_i^n \frac{k_{NNi}}{k_{ANi}} * K_{AN} = c * K_{AN},$$

čia: K_{AN} – atraminio nuklido aktyvumas, K_{NN} – nustatomo nuklido aktyvumas, c – proporcingumo daugiklis, nustatytas taikant aritmetinio vidurkio metodą, n – matuotų ėminių kartai, k_{ANi} – išmatuotas atraminio nuklido aktyvumas ėminyje i , k_{NNi} – išmatuotas nustatomo nuklido aktyvumas ėminyje i .

Kadangi proporcingumo daugiklio metodas yra pusiau empirinis, tai jo tikslumą lemia ėminių skaičius. Pakankamas ėminių skaičius laikomas tokiu, kurį viršijus duomenų statistika pagerėja tiek mažai, kad ekonomiškai jau neapsimoka jo pagerinti. Priklausomybės laipsnis tarp dviejų radionuklidų yra nusakomas koreliacijos koeficientu, kuris kinta priklausomai nuo ėminių skaičiaus. Reikalingas ėminių skaičius skirtingiems koreliacijos koeficientams pateiktas 1 pav.

Taikant reprezentatyvaus spektro metodą, paimamas tinkamas (reprezentatyvus) atliekų srauto ėminys ir nustatomas atskirų radionuklidų savitasis aktyvumas. Šių aktyvumų pasiskirstymas laikomas reprezentatyviu visam atliekų srautui. Reprezentatyvaus spektro metodas yra taikomas vieno atliekų tipo arba tos pačios galutinio atliekų apdorojimo kampanijos atliekoms. Kadangi



1 pav. Ēminių skaičiaus priklausomybė nuo koreliacijos koeficiento [4]

paimami vienas ar keli ėminiai, atliekos turi būti vienalytės. Nustatant atskirų radionuklidų savituosius aktyvumus pakuotėje yra laikoma, kad radionuklidų aktyvumai yra vienodi visam atliekų srautui ir lygūs kiekvienai pakuotei.

Daugumoje šalių proporcingumo daugikliams nustatyti naudojamas vidutinių verčių, aritmetinio vidurkio (Japonija, Jungtinė Karalystė) arba geometrinio (logaritminio) vidurkio (Prancūzija, P. Korėja, Ispanija), metodai [2]. Proporcingumo daugiklio vidutinės vertės metodai remiasi prielaida, kad tarp tiriamų nuklidų aktyvumų yra tiesinė priklausomybė. Taikant geometrinio vidurkio metodą gaunamos labiau vidurkį reprezentuojančios vertės (mažiau konservatyvios vertės), kai duomenys labiau išsi-barstę.

Kitos šalys (tarp jų ir Lietuva) ryšio tarp atraminiam ir sunkiai matuojamiems radionuklidų aktyvumams nustatyti savo vertinimuose taiko netiesinės regresijos metodą:

$$K_{NN} = b' * (K_{AN})^m$$

$$\log(K_{NN}) = b + m * \log(K_{AN}), \text{ čia } b = \log(b'),$$

čia: b' – proporcingumo koeficientas, m – regresijos koeficientas.

Tiesinis logaritmų regresijos metodas leidžia tiksliau nustatyti santykį tarp radionuklidų aktyvumų esant kompleksiniam, netiesiniam ryšiui tarp tiriamų atraminio ir sunkiai išmatuojamų radionuklidų.

Kai radionuklido savitasis aktyvumas atliekoje yra mažesnis už matavimo prietaiso aptikimo ribą ar matavimas yra ekonomiškai nenaudingas, jo savitąjį aktyvumą galima nustatyti taikant

kompiuterinį modeliavimą (analitinis metodas). Tokiu atveju, jei radionuklido susidarymas yra nulemtas neutronų sąveikos su medžiaga, žinant branduolinio kuro deginimo istoriją, skaitinio modeliavimo būdu galima nustatyti radionuklido koncentraciją tiek kuro rinklėje, tiek reaktoriaus konstrukciniuose elementuose. Remiantis prielaida, kad visi Pu izotopai aplinkoje sklinda vienodai, pagal susidarymo branduoliniame kure santykį galima nustatyti sunkiai matuojamo izotopo kiekį pagal kitą pagalbinį to paties elemento lengvai išmatuojamo izotopo aktyvumą radioaktyviosiose atliekose, padauginant jį iš apskaičiuoto radionuklidų susidarymo branduoliniame kure santykio. Geriausiai tam tinka kitas to paties elemento izotopas.

Jei atliekose yra kitų išmatuojamų radionuklidų su panašiomis fizinėmis ir cheminėmis savybėmis, ir jie gali būti įvertinti modeliuojant kuro išdegimą, nematuojamoms radionuklidų aktyvumo atliekoms suskaičiuoti galima naudoti aktyvumų santykį tarp jau žinomų izotopų. Alfa spektrometrijos būdu yra matuojami suminiai ^{239}Pu ir ^{240}Pu bei ^{243}Cm ir ^{244}Cm aktyvumai, nes jų smailės spektre yra neatskiriamos. Atskirai nematuojamų plutonio ar kiurio izotopų aktyvumai K_n nustatomi panaudojus jų suminį aktyvumą ir apskaičiuotą šių radionuklidų aktyvumų branduoliniame kure santykį:

$$K_a = k_{a,p} * k_{p,n} * K_n,$$

čia: K_a – atraminio radionuklido aktyvumas, $k_{a,p}$ – proporcingumo koeficientas tarp pagalbinio ir atraminio radionuklido aktyvumų, $k_{p,n}$ – proporcingumo koeficientas tarp nematuojamo ir pagalbinio radionuklido aktyvumų.

Aktyvacijos produktų susidarymas analitiniuose vertinimuose analogiškas kuro išdegimo skaičiavimo metodui. Skaičiuojamas dviejų radionuklidų susidarymas, iš kurių vienas yra matuojamas, pavyzdžiui, ^{59}Fe yra nustatomas iš ^{55}Fe , ^{93}Zr iš ^{95}Zr .

Kitas metodas – vidutinės koncentracijos atliekų sraute metodas yra taikomas tada, kai radionuklidai nekoreliuoja su atraminiais radionuklidais. Pavyzdžiui, tričio koncentracija branduolinės jėgainės radioaktyviosiose atliekose dažnai nustatoma tiesiogiai išmatavus jo koncentraciją radioaktyviųjų atliekų sraute, paėmus būdingus ėminius, arba pagal jo kiekį aušale padauginant jo vertę (koncentraciją) iš pernešimo į radioaktyvias atliekas daugiklio.

Savitojo aktyvumo nustatymo metodų taikymo pavyzdžiai įvairiems radionuklidams pateikti 1 lentelėje.

Atraminų radionuklidų parinkimas

^{60}Co didelės energijos gama spinduliai (1,16 MeV ir 1,33 MeV) yra silpnai sugeriami atliekų pakuotėse, todėl šiuo atveju dominuoja gama spinduliuotė. Daugumoje šalių ^{60}Co naudojamas kaip atraminis

nuklidas nustatant aktyvuotų korozijos produktų aktyvumus, o ^{60}Co ir ^{137}Cs – nustatant skilimo produktų aktyvumus (2 lentelė). Transuraninių radionuklidų koncentracijų įvertinimas yra mažiau standartizuotas, skirtingose šalyse naudojami skirtingi atraminiai radionuklidai (^{60}Co , ^{137}Cs , ^{144}Ce ar $^{239/240}\text{Pu}$). Žinoma, bet kuriuo atveju svarbiausia išlieka tai, kad koreliacija tarp atraminio ir sunkiai matuojamo radionuklido aktyvumo būtų priimtina.

Kanadoje ir JAV yra taikomas dviejų pakopų procesas nustatant transuraninių radionuklidų koncentracijas. Pavyzdžiui, $^{239/240}\text{Pu}$ arba ^{241}Pu proporcijos nustatomos atraminiam izotopui ^{60}Co , kai kitų transuraninių radionuklidų proporcijos įvertinamos $^{239/240}\text{Pu}$ arba ^{241}Pu vertėmis pagal esantį teorinį santykį atidirbusiame kure.

Svarbiausių laidojamų radionuklidų sąrašas sudaromas atliekant kapinyno saugos (laikotarpio po kapinyno uždarymo) vertinimą. Remiantis gautais rezultatais ir siekiant išvengti galimo žalingo poveikio, svarbiems radionuklidams nustatomi ribiniai aktyvumai. Deklaruojamų nuklidų sąrašas įvairiose šalyse skiriasi, nes skiriasi laidojimo koncepcijos, kapinyno savybės ir pan. Švedijoje

1 lentelė. Radionuklidų savitojo aktyvumo nustatymo metodai

Metodas	Pavyzdžiai
Tiesioginis matavimas	^{60}Co , ^{137}Cs (atraminiai)
Proporcingumo daugiklių metodas	^{14}C , ^{54}Mn , ^{55}Fe , ^{58}Co , ^{59}Ni , ^{63}Ni , ^{90}Sr , ^{94}Nb , ^{99}Tc , ^{95}Zr , ^{106}Ru , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{125}Sb , ^{129}I , ^{134}Cs , ^{135}Cs , ^{144}Ce , ^{154}Eu , ^{155}Eu , ^{234}U , ^{238}U , ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Pu , ^{241}Am , ^{242}Cm , ^{243}Cm , ^{244}Cm
Reprezentatyvus spektro metodas	Jonų kaitos dervos
Vidutinė koncentracija sraute	^3H , ^{14}C , ^{36}Cl
Analitiniai metodai (kuro išdegimo, aktyvacijos skaičiavimai, skilimo skaičiavimai)	^{237}Np , ^{243}Am , ^{245}Cm , ^{246}Cm , ^{242}Pu , ^{230}Th , ^{228}Th , ^{234}U , ^{236}U , ^{152}Eu , ^{155}Eu , ^{41}Ca , ^{126}Sn , ^{151}Sm , ^{59}Fe , ^{93}Zr , ^{65}Zn , $^{95}\text{Nn}(^{95}\text{Zr})$

2 lentelė. Atraminų nuklidų parinkimas skirtingiems atliekų srautams vertinti [2]

	Atraminiai nuklidai				
	^{60}Co	^{137}Cs	^{60}Co arba ^{137}Cs	$^{239/240}\text{Pu}$	^{238}Pu , ^{144}Ce
Ispanija, Lietuva, Ukraina			KP, SP, TR		
Prancūzija	KP, TR	SP vienalytėms atliekoms	SP nevienalytėms atliekoms		
P. Korėja, Slovakija, Švedija	KP, TR	SP			
Jungtinė Karalystė	KP		SP, TR		
Japonija	KP	SP	TR		
Kanada			KP, SP	TR	
Vengrija			KP, SP, TR		TR

Pastaba: KP – koroziniai produktai, SP – skilimo produktai, TR – transuraniniai radionuklidai.

radioaktyviasias atliekas tvarkanti ir prižiūrinti organizacija yra patvirtinusi 48 radionuklidų sąrašą [5]. Vokietijoje saugos atžvilgiu kaip svarbūs išskirti 79 radionuklidai [6]. Ignalinos AE V1 pastato įrangos išmontavimo metu susidaranciose radioaktyviosiose atliekose patvirtintas gana platus kontroliuojamų 26 radionuklidų sąrašas, t. y. ¹⁴C, ⁵⁴Mn, ⁵⁵Fe, ⁵⁹Ni, ⁶³Ni, ⁶⁰Co, ⁶⁵Zn, ⁹⁰Sr, ⁹³Zr, ^{93m}Nb, ⁹⁴Nb, ⁹⁹Tc, ^{110m}Ag, ¹²⁹I, ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs, ²³⁴U, ²³⁵U, ²³⁸U, ²³⁷Np, ²³⁸Pu, ²³⁹Pu, ²⁴⁰Pu, ²⁴¹Pu, ²⁴¹Am, ²⁴⁴Cm [3].

AE išmontavimo strategijos įtaka nuklidiniam vektoriui

Prenkant atraminį radionuklidą svarbu atsižvelgti ir į AE išmontavimo strategiją. AE įrangos išmontavimo atidėjimas turi teigiamų ir neigiamų pusių: demontavimo metu didžiausią įtaką išorinei apšvitai darančių nuklidų aktyvumai yra lengviausiai išmatuojami, todėl nuklidai ⁶⁰Co ir ¹³⁷Cs yra naudojami kaip atraminiai (2 pav.). Sąlyginai trumpa gama kvantus spinduliuojančių ⁶⁰Co radionuklido pusėjimo trukmė sumažina lengvai matuojamų nuklidų kiekį iki tokio lygio, kad radiologinė charakterizacija tampa sudėtinga ar net neįmanoma. Todėl yra svarbu branduolinės jėgainės įrangą charakterizuoti dar pirminėje stadijoje, kai radionuklidų sudėtis yra artima jėgainės eksploatavimo metu esančiai sudėčiai.

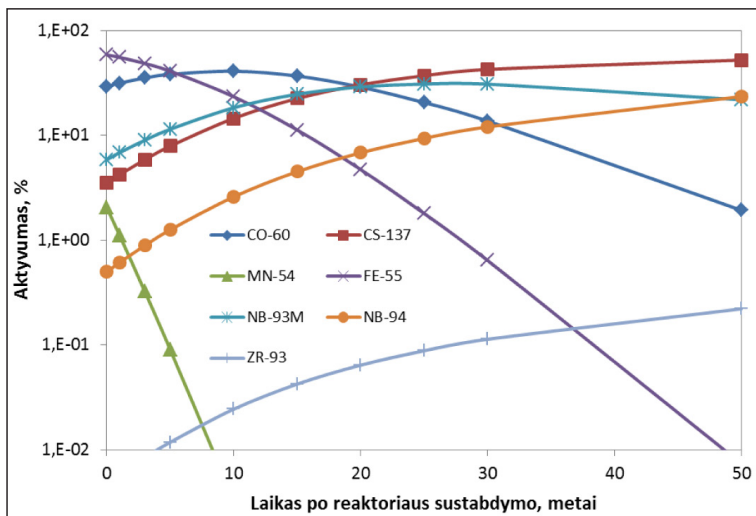
Laikui bėgant (po 30–50 metų) dėl savaiminio skilimo izotopas ⁶⁰Co ($t_{1/2} = 5,3$ m) suskyla iki tokio lygio, kad jį aptikti tampa sudėtinga ir tenka vertinimui pasirinkti sunkiau matuojamą atraminį nuklidą, pavyzdžiui, ¹³⁷Cs ($t_{1/2} = 30,2$ m). 3 lentelėje pateiktas lengvai matuojamų nuklidų aktyvumų procentinės dalies kitimas sudarytame nuklidinia-

me vektoriuje, kuris naudojamas Ignalinos AE V1 bloko deaktyvuojamai ir išmontuojamai įrangai charakterizuoti. Pradžioje ⁶⁰Co dalis nuklidiniame vektoriuje sudaro 26 %, o po 30 metų jo kiekis dėl savaiminio skilimo sumažėja daugiau nei 50 kartų ir sudaro tik 5 %. Tuo tarpu ¹³⁷Cs kiekis per tą patį laikotarpį pakinta 2 kartus ir jo svoris nuklidiniame vektoriuje padidėja. Todėl sudarant nuklidinius vektorius ir parenkant atraminius nuklidus taip pat svarbu atsižvelgti į patvirtintą AE demontavimo strategiją.

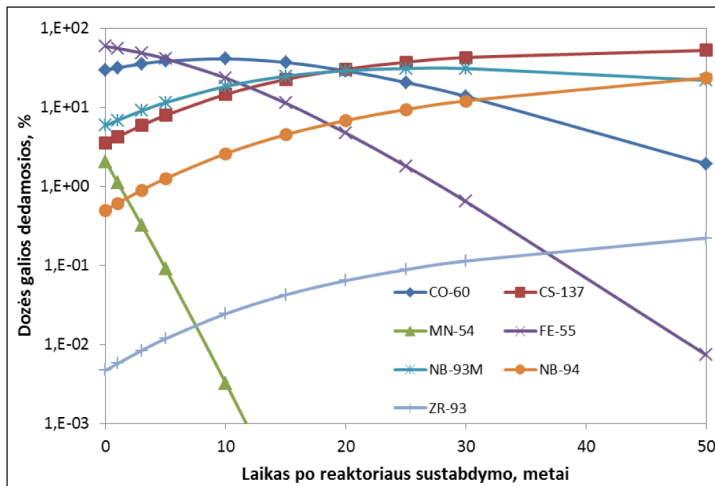
3 lentelė. Lengvai matuojamų nuklidų aktyvumų kitimas nuklidiniame vektoriuje

Laikotarpis po AE sustabdymo, metai	⁶⁰ Co, %	¹³⁷ Cs, %	Kiti, %
0	26	3	71
30	5	15	80
50	1	13	86

Radioaktyviosios įrangos pagrindinių radionuklidų aktyvumo mažėjimas dėl nuklidų savaiminio skilimo pateiktas 2 pav. Rezultatai gauti taikant RESRAD-BUILD kompiuterinę programą. Paveiksle aktyvumas pateiktas procentine dalimi nuo suminės aktyvumo vertės. Bendro aktyvumo pradinis mažėjimas yra nulemtas spartaus ⁵⁴Mn, ⁵⁵Fe ir ⁶⁰Co savaiminio skilimo, kai vėlesniam jo kitimo pobūdžiui daugiausia įtakos turi daug ilgesnį skilimo pusamžį turintys ¹³⁷Cs ir Nb izotopai. Žymiausias aktyvumo lygio pokytis įvyksta per pirmuosius dešimtmečius. Tuo tarpu apšvitos dozės galios mažėjimas (3 pav., atskiro izotopo įtaka bendrai išorinės apšvitos galiai), kuris yra labai



2 pav. Nuklidų aktyvumo kitimas dėl savaiminio skilimo



3 pav. Išorinės apšvitos dozės galios dedamųjų kitimas, nulemtas savaiminio skilimo

svarbus AE įrangos išmontavimo darbų procese, vyksta daug ilgesnį laikotarpį. ^{60}Co labiausiai veikia išorinę apšvitos dozę per pirmuosius 30 metų. 3 pav. pateiktas išorinei apšvita daugiausia įtakos turinčių radionuklidų dedamųjų kitimas, lemiamas savaiminio skilimo išmontuojant Ignalinos AE V1 bloko įrangą.

IŠVADOS

Proporcingumo daugiklio metodas – labiausiai paplitęs būdas, leidžiantis greitai ir tiesiogiai nustatyti pagrindinius radionuklidus. Žinant juos ir pritaikius nuklidinį vektorių, būtų galima nustatyti atliekų pakuotės pilną aktyvumą, taip pat kontroliuoti leistinus maksimalius radionuklidų savituosius aktyvumus ir jų atitikimą, pavyzdžiui, laidojimo aikštelės priimtimumo kriterijams. Daugumoje šalių ^{60}Co ir ^{137}Cs izotopai yra naudojami kaip pagrindiniai atraminiai radionuklidai sunkiai matuojamų nuklidų aktyvumo turiniui atliekų pakuotėje nustatyti. ^{60}Co paprastai yra naudojamas kaip atraminis nuklidas aktyvuotų korozijos nuklidų, o ^{60}Co ar ^{137}Cs – kaip atraminiai nuklidai dalijimosi produktų ir transuraninių radionuklidų savitiems aktyvumams nustatyti.

Gauta 2014 12 17

Priimta 2015 05 08

Literatūra

1. BSR-3.1.2-2010. *Radioaktyviųjų atliekų tvarkymo branduolinės energetikos objektuose iki jų laidojimo reikalavimai*. VATESI, 2010.
2. *Determination and Use of Scaling Factors for Waste Characterization in Nuclear Power Plants*. IAEA Nuclear Energy Series NW-T-1.18. Vienina: International Atomic Energy Agency, 2009.
3. Lukauskas D., Plukienė R., Plukis A., et al. Method to determine the nuclide inventory of low-activity waste of the RBMK-1500 Reactor. *Lithuanian Journal of Physics*. 2006. P. 497–503.
4. Kachiwagi M., Muller W, Lantes B. Considerations of the activity determination method for low-level waste packages and nuclide data comparison between different countries. *Proceedings of International Conference on Safety of Radioactive Waste Management, Cordoba, Spain, 13–17 March 2000*.
5. Lundgren K., Larsson A. Validation of activity determination codes and nuclide vectors by using results from processing of retired components and operational waste. *Proceedings of Workshop on Radiological Characterisation for Decommissioning, Studsvik, Sweden, 17–19 April 2012*.
6. Grundler D., Stephan G. Applying scaling factors in practice – determination of activities in routine waste declaration. *Proceedings of International Workshop on Determination and Declaration of Nuclide Specific Activity Inventories in Radioactive Wastes, Cologne, Germany, September 2001*.

Aurimas Tonkūnas, Raimondas Pabarčius

SCALING FACTOR METHOD FOR VERY LOW-LEVEL RADIOACTIVE WASTE CHARACTERIZATION

Summary

Radioactive waste characterization is one of the constituent parts of the NPP radioactive waste management. Nuclear equipment is dismantled and placed in appropriate containers that firstly are transferred to the temporary storage area and then are distributed to the final waste repositories. In order to control whether the acceptance criteria are fulfilled or not, it is important to assess the radionuclide specific activity accumulated in the waste before transportation of the filled waste

packages. One of the most effective methods for the determination of the most important radionuclide concentrations in the package is the scaling factor method (or nuclide vector). Using gamma spectroscopy or data on the surface dose rate, for each waste package, the activity of the key radionuclide is estimated. The remaining difficult to measure radionuclide concentrations are calculated using pre-determined scaling factors for different radionuclides. This article gives an overview of the most common methods for the assessment of the most important key radionuclide concentrations in radioactive waste packages paying more attention to the scaling factor method.

Key words: nuclide vector, scaling factor, radioactive waste