

Branduolinio reaktoriaus konstrukcijų aktyvacijos skaitinio modeliavimo optimizavimas

Optimization the numerical modelling of activation of nuclear reactor constructions

Artūras Plukis, Vytenis Barkauskas, Darius Germanas, Rita Plukienė, Laurynas Juodis, Vidmantas Remeikis
Fizinių ir technologijos mokslų centras, Savanorių pr. 231, 02300 Vilnius
arturas.plukis@ftmc.lt

Nuklidinės sudėties evoliuciją reaktoriuje lemia visa eilė neutronų srauto sąveikos su medžiaga reiškiniai. Vykstantiems procesams aprašyti norimu reaktoriaus darbo momentu reikia analizuoti kelių tūkstančių nuklidų virsmus vienu metu. Neutronų srautui reaktoriuje modeliuoti skirti deterministiniai (WIMS, HELIOS, NEWT) arba euristiniai (Monte Karlo – MCNP, MORSE) metodai, kurie pakankamu tikslumu leidžia įvertinti naudoto branduolinio kuro (NBK) sudėtį bei medžiagų aktyvaciją reaktoriaus aktyviojoje zonoje. Tačiau tiek vieni tiek kiti metodai turi apribojimų norint įvertinti tolimesnių reaktoriaus sričių konstrukcinių medžiagų aktyvaciją. Monte Karlo metodus apriboja skaičiavimo laikas, nes statistiškai sekamų dalelių įvykiai parenkami atsitiktinai pagal sąveikos tikimybes, atžvelgiant į fizikinius bei tikimybinus procesus vykstančius medžiagoje. Deterministiniai metodai yra nepalyginamai greitesni – jie pagal suvidurkintą visos dalelių populiacijos elgseną sprendžia Boltzmanno lygtį todėl negali tiksliai aprašyti toli nuo neutronų šaltinio vykstančių procesų.

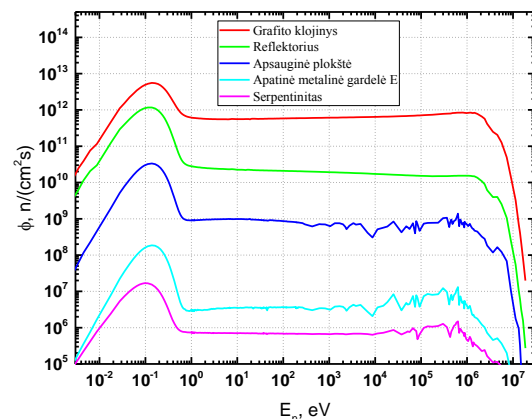
Siekiant optimizuoti branduolinio reaktoriaus konstrukcijų aktyvacijos modelį buvo pasitelkta tiek MCNP6 [1] programa tiek SCALE6.2 [2] programų paketas, kurie leidžia pakankamai tiksliai ir sąlyginai greitai gauti medžiagų aktyvacijos rezultatus pasirinktose reaktoriaus konstrukcijose. SCALE 6.2 yra pranašesnė už MCNP6 skaičiavimo laiko požiūriu, tačiau MCNP6 turi platesnės galimybės neutronų sklaidai reaktoriaus konstrukcijoje modeliuoti.

Reprezentatyvaus neutronų srauto reaktoriaus konstrukcijoje nustatymui naudojant MCNP, iteracijų būdu apskaičiuojamas kiekvienos nagrinėjamos konstrukcijos ar konstrukcijų grupės neutronų svarbos koeficientas, kuris leidžia išlyginti gaunamo neutronų srauto tikslumą per visą modeliuojamą reaktoriaus sritį (pvz. gali būti įskaitomos metalinės, betoninės konstrukcijos ar biologinė apsauga). Priklausomai nuo analizuojamos sistemos parenkamas atitinkamai išplėstas reaktoriaus 3D modelis: aktyviajai zonai pakanka 4x4 kuro gardelių sistemos pakankamai tiksliai įvertinti neutronų srautus centrinėje dalyje (kadangi beveik 100 kartų mažesnis modelis leidžia eile sutrumpinti skaičiavimo laiką neprarandant tikslumo), tolimesniems objektams aprašyti reikia ketvirčio arba pilno trimačio reaktoriaus modelio. Iš tiesų pilno reaktoriaus modelyje gaunamas neutronų srautas yra didesnis dėl mažesnio neutronų daugėjimo koeficiento (k_{eff}) reikšmės, didesnis neutronų srautas kompensuoja neutronų nuotėkį per šoninius reflektorius.

Apskaičiavus visus neutronų srautus reikiamose

konstrukcijose atitinkamoms neutronų grupėms (naudojama ENDF/B-VII.1 sąveikos bibliotekų SCALE6 suskirstymas į 252 grupes) pereinama prie kito etapo: neutronų srautų perkėlimo deterministiniams SCALE6 paketo kodams tolesniems skaičiavimams.

SCALE6 paketo COUPLE programa pagal apskaičiuotą neutronų srautą naudojant daugelio (252) grupių neutronų sąveikos skerspjūvius įvertina makroskopinius neutronų sąveikos skerspjūvius Σ medžiagoje. Toliau gali būti sudaromos vienos energijos grupės skerspjūvių bibliotekos skirtos SCALE6 paketo ORIGIN-S programai. Šiuo būdu pakanka kelių sekundžių procesoriaus laiko sumodeliuoti medžiagų evoliuciją pasirinktoje reaktoriaus konstrukcijoje. Svarbus vaidmuo taip pat tenka pakankamai tiksliems duomenims apie reaktoriaus ir jo aplinkos komponentų medžiaginei sudėčiai aprašyti, nes nuo priemaišų sudėties tikslumo labai priklauso gaunamų aktyvacijos rezultatų patikimumas.



1 pav. Neutronų srauto energinis pasiskirstymas RBMK tipo reaktoriaus konstrukcijoje.

Reikšminiai žodžiai: radioaktyviosios atliekos, neutronų aktyvacija, MCNP6, SCALE6, ORIGIN-ARP modeliavimas.

Literatūra:

- [1] Goorley, et al., Initial MCNP6 Release Overview, Nuclear Technology, 180, pp. 298-315 (2012)
- [2] B.T. Rearden and M.A. Jesse, Eds., SCALE Code System, ORNL/TM-2005/39, Version 6.2.1, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee (2016).