

KONFERENCIJA O KORIŠĆENJU NUKLEARNIH REAKTORA U JUGOSLAVIJI

S. Cupać

Institut za nuklearne nauke Boris Kidrič Beograd-Vinča

PRORAČUN SNAGE REAKTORA RA PRI NEKONTROLISANIM
PROMENAMA REAKTIVNOSTI

CALCULATION OF RESEARCH REACTOR RA POWER AT UNCONTROLLED
REACTIVITY CHANGES

SADRŽAJ-Sigurnosne analize reaktora RA obuhvataju i proračune snage reaktora pri nekontrolisanim promenama reaktivnosti. U te svrhe izrađen je odgovarajući računski program nabazi tačkastog modela kinetike reaktora.

Ukratko je izložen primenjeni metod za rešavanje je dnačina i dato nekoliko primera koji ilustruju ponašanje reaktora pri različitim zakonima promene reaktivnosti.

Dobijeni rezultati, za sada, daju dosta grubu sliku o ponašanju reaktora u razmotrenim situacijama. Ovo je uslovljeno pojednostavljenim modelom povratne sprege i hlađenja reaktora, kao i korišćenjem temperaturnog koeficijenta reaktivnosti i vremena života trenutnih neutrona, koji ne odgovaraju sadašnjem stanju reaktora RA (koji je sada samo delimično popunjen sa 80% obogaćenim uranskim gorivom).

ABSTRACT-The safety analysis of research reactor RA involve also the calculation of reactor power at uncontrolled reactivity changes. The corresponding computer code, based on Point Kinetics Model has been made.

The short review of method applied for solving kinetics equations is given and several examples illustrating the reactor behaviour at various reactivity change laws, are presented.

The results already obtained are giving rather rough picture of reactor behaviour in considered situations. This is the consequence of using simplified feed back and reactor cooling models, as well as temperature reactivity coefficients, which do not correspond to the actual reactor RA structure (which is now only partly fulfilled with 80% enriched uranium fuel).

However, the developed calculation code is a good basis for corresponding analysis of reactor RA at equilibrium burn up, for the core containing only 80% enriched fuel.

1. UVOD

Veoma značajan deo sigurnosnih analiza rada reaktora RA predstavlja mogućnost predviđanja promene snage pri nekim nestacionarnim procesima.

Kompletno, prostorno-vremensko, opisivanje promena snage reaktora u nestacionarnim procesima predstavlja veoma složen problem, zato je ovde za proračun primenjen model reaktora sa usredsređenim parametrima.

Pri proračunu su korišćene ranije merene vrednosti vremena života trenutnih neutrona i temperaturskih koeficijenata reaktivnosti β . Te vrednosti ne odgovaraju sadašnjem stanju reaktora koji se nalazi u prelaznom režimu unošenja 80% obogaćenog goriva, koje će trajati do 1980 godine. Zbog toga, a i zbog uprošćenih modela hlađenja reaktora i povratne sprege između snage i reaktivnosti reaktora, dobijeni rezultati daju samo približnu sliku o ponašanju reaktora pri razmotrenim situacijama.

Kasnije, sa odgovarajućim vrednostima vremena života trenutnih neutrona, temperaturskih koeficijenata reaktivnosti, boljim modelom povratne sprege između snage i reaktivnosti reaktora i boljim modelom hlađenja reaktora napravljeni računski program će moći da pruži realniju sliku o ponašanju reaktora pri nestacionarnim procesima.

2. TEORIJSKI OSNOVI PRORAČUNA

Prostorno-vremensko ponašanje neutronskog fluksa u reaktoru se opisuje Boltzmanovom kinetičkom jednačinom. No kako je nju veoma teško rešiti, obično se za proračune koriste njene različite aproksimacije. Jedna od tih aproksimacija su jednačine tačkastog modela kinetike reaktora:

$$\frac{dP}{dt} = \frac{\rho - \beta}{\Lambda} P + \sum_{i=1}^6 \lambda_i C_i + Q \quad (1)$$

$$\frac{dC_i}{dt} = \frac{\beta_i}{\Lambda} P - \lambda_i C_i$$

Korišćene oznake su uobičajene.

Tačkast model kinetike ne uzima u obzir prostornu zavisnost neutronskog fluksa u reaktoru. Unjemu se pretpostavlja da se prostorna zavisnost raspodele neutronskog fluksa u toku nestacionarnog procesa ne menja. Ova pretpostavka znatno ograničava mogućnosti za primenu tačkastog modela kinetike reaktora. No kod malih reaktora, kod kojih forma raspodele neutronskog fluksa slabo zavisi od mesta na kome je perturbacija izazvana, tačkast model daje dovoljno dobre rezultate.

Kvantitativno kriterijum primenljivosti tačkastog modela kinetike reaktora može približno da se izrazi sledećom relacijom:

$$\frac{D^2}{L^2 + \tau} \ll 100 \quad (2)$$

D-dimenzije aktivne zone

L-difuziona dužina

τ -starost neutrona

Reaktor RA zadovoljava relaciju (2), tako da se kod nje ga može primeniti tačkast model kinetike reaktora.

Povratna sprega između snage i reaktivnosti reaktora se uzima u obzir preko temperaturnih koeficijenata reaktivnosti i izražava se relacijom:

$$RPS = \sum_i a_i \Delta T_i \quad (3)$$

RPS-reaktivnost povratne spregе

a_i -izotermni koeficijent reaktivnosti i-tog materijala

T_i -priraštaj temperature i-tog materijala,

pa je ukupna reaktivnost data sledećom relacijom:

$$\rho = SPR + RPS \quad (4)$$

SPR-spoljašnja reaktivnost (kretanje regulacione šipke i sl.).

Model hladenja goriva je sasvim pojednostavljen. Pretpostavljeno je da se zagrevanje goriva može opisati sledećom relacijom:

$$mC \frac{dT}{dt} = P - (T - T_H) \cdot d \quad (5)$$

m-masa goriva

C-specifična toplota goriva

T-prostorno usrednjena temperatura goriva

P-snaga reaktora

d-efektivni koeficijent prenosa toplote

T_H -temperatura hladioca.

Pretpostavljeno je da se temperatura hladioca i koeficijent prenosa toplote ne menjaju u toku procesa.

Pošto se razmatraju vremenski kratki procesi pretpostavlja se da je ukupno oslobođena energija mala da bi izazvala promenu temperature moderatora, pa je uzet u obzir samo uticaj promene temperature goriva na reaktivnost reaktora.

3. METOD REŠAVANJA JEDNAČINA KINETIKE

Sistem jednačina (1) se može analitički rešiti samo za neke specijalne slučajeve, koji nisu od većeg praktičnog značaja. Da bi se dobilo rešenje u opštem slučaju tj. za proizvoljne promene reaktivnosti moraju se primeniti numerički metodi. Ali, kako u sistemu jednačina (1) figuriše mali vremenski parametar (ide od 10^{-3} za termalne do 10^{-8} s za brze reaktore) standardni metodi konačnih razlika nisu pogodni, osobito za procese koji dugo traju u odnosu na . Zato je ovde primenjen, za rešavanje jednačina (1), drugačiji postupak/1/, koji će biti ukratko skiciran. Detalji primene postupka zbog glomaznosti nisu navedeni.

Sistem jednačina (1) se može prevesti u integralnu formu:

$$P(t) = P(t_0) + \frac{1}{\lambda} \int_{t_0}^t P(t') dt' - \frac{1}{\lambda} \sum_i \int P(t) \exp(-(t-t') \cdot \lambda_i) dt' + \sum_i C_i(t_0) (1 - \exp(-(t-t_0) \cdot \lambda_i)) + Q \quad (6)$$

Razdelimo vremenski interval $t-t_0$ na jednake podintervale Δt . Aproximirajmo na i -tom podintervalu ($i=1, \dots, N; N=(t-t_0)/\Delta t$) snagu funkcijom:

$$P = P(i-1) + PA(i)t + PB(i)t^2 \quad (7)$$

$P(i-1)$ — snaga na kraju $(i-1)$ -og vremenskog podintervala
 $PA(i)$ i $PB(i)$ su nepoznati koeficijenti.

Ako nam je unapred data zavisnost reaktivnosti od vremena $P(t)$ nju, slično snazi, možemo predstaviti u obliku kvadratne funkcije:

$$P = P(i-1) + RA(i)t + RB(i)t^2 \quad (8)$$

$(i-1)$ -reaktivnost na kraju $(i-1)$ -og vremenskog podintervala
 $RA(i)$ i $RB(i)$ poznati koeficijenti.

Ako izraz za snagu (7) i reaktivnost (8) stavimo u jednačinu (6) i izvršimo integraciju na i -tom vremenskom podintervalu i na polovini i -tog podintervala dobiće se sistem od dve jednačine sa dve nepoznate $PA(i)$ i $PB(i)$ kao funkcije snage na kraju $(i-1)$ -og podintervala i reaktivnosti na i -tom podintervalu. Gornji postupak se sukcesivno ponavlja za $i=1, \dots, N$ i na taj način dobija snaga u proizvoljnom trenutku.

4. PRIMERI

Dati primeri sl.1 i sl.2 prikazuju promene snage (a) i temperature goriva (b) reaktora RA pri sledećim promenama spoljašnje reaktivnosti:

1.

$$\Delta R_K = \begin{cases} 0,00107t \left[1 - \frac{\sin(0,4187t)}{0,4187t} \right] & t \leq 4 \\ 0 & t > 4 \end{cases}$$

Što približno odgovara izvlačenju automatskog regulatora u trajanju od 4s, a zatim trenutnom spuštanjem na dno.

$$SPR = \begin{cases} 0,00107t \left[1 - \frac{\sin(0,4187t)}{0,4187t} \right] & t \leq 4 \\ 0,001739 & t > 4 \end{cases}$$

Što približno odgovara izvlačenju automatskog regulatora u trajanju od 4s.

Automatski regulator polazi sa dna reaktora.

Temperaturski koeficijent reaktivnosti goriva iznosi $a_f = 0,00001$.

5. ZAKLJUČAK

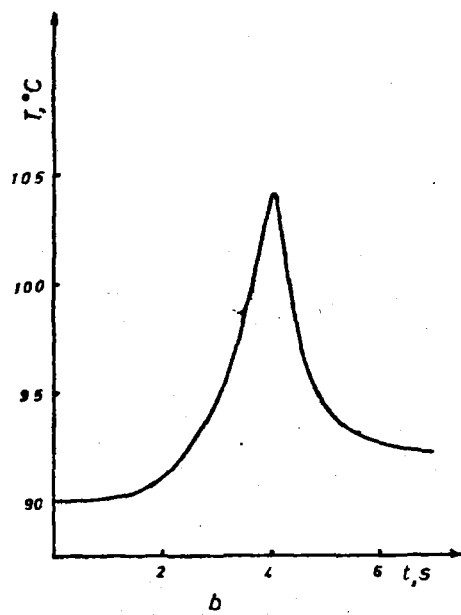
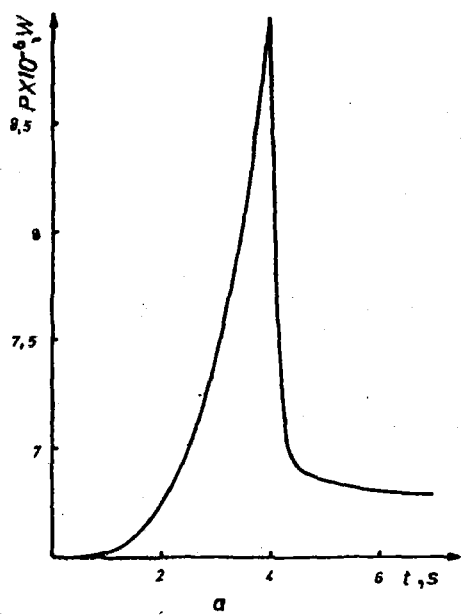
Dobijeni rezultati, zbog ranije navedenih razloga, predstavljaju samo približnu sliku ponašanja reaktora RA pri navedenim zakonima promene spoljašnje reaktivnosti. Međutim, cilj rada i nije bilo odmah dobiti što tačniju sliku o ponašanju reaktora RA, jer se njegovo stanje neprekidno menja (popunjava se sa 80% obogaćenim uranskim gorivom), pa samim tim nema ni potrebe insistirati na što većoj tačnosti, već napraviti računski program koji će uz izvesne modifikacije dati realnu sliku o ponašanju reaktora RA sa ravnotežnim režimom izgaranja sa 80% obogaćenim uranskim gorivom. Takav program je napravljen i is testiran. Testiranje je vršeno upoređivanjem rezultata koje on daje sa rezultatima iz literature /1,4/.

Da bi se program sasvim završio potrebno je usavršiti model hlađenja reaktora tj. uzet u obzir i zagrevanje moderatora i popraviti model povratne sprege između snage i reaktivnosti reaktora.

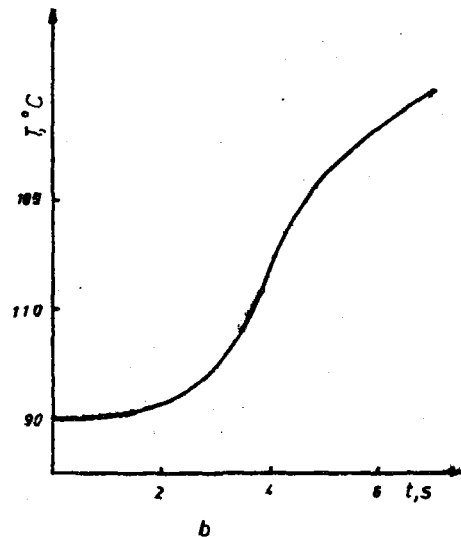
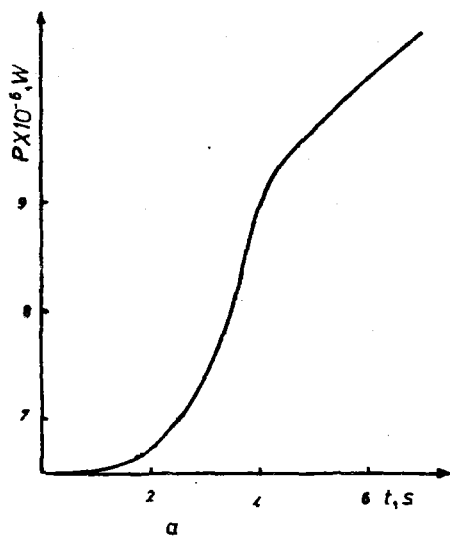
Sa ovim modifikacijama i korišćenjem tačnijih vrednosti vremena života trenutnih neutrona i temperaturskih koeficijenata reaktivnosti načinjeni program bi dao onoliko dobru sliku o ponašanju reaktora RA koliko se može dobra dobiti sa modelom reaktora sa usredsređenim parametrima (misli se i na kinetiku i na hlađenje reaktora).

5. LITERATURA

1. D. Hetrik Dinamika jadernih reaktorov. Atomizdat, 1975.
2. M. Petrović and D. Obradović Kinetic parameters of the RB and RA reactors. IEK-385 Beograd-Vinča, 1965.
3. I. Ja. Emeljanov P. Gavrilov B. N. Seliverstov Upravljenje i bezopasnost jadernih energetičeskih reaktorov. Atomizdat, 1975.
4. Kipin Dž. Fizičeskie osnovi kinetiki jadernih reaktorov. Atomizdat, 1967.



SL.1



SL.2