

## MEHANIZMI MEDJUKANALNIH SPREGA PARALELNIH KANALA

V. Jović, N. Afgan, L. Jović  
 Institut za nuklearne nauke "Vinča", Beograd

*Uvod* - Razmatraju se mehanizmi međusobnog uticaja paralelnih kanala. Za izvršena eksperimentalna istraživanja nestacionarnih režima strujanja u tri paralelna vertikalna kanala, daju se rezultati analize fenomena i mehanizama međusobnog delovanja paralelnih kanala za adijabatske uslove strujanja jednofaznog fluida i dvofazne smeše.

uslovi pojave medjukanalne nestabilnosti i delovanja medjukanalnih sprega. Nestacionarni režimi predstavljali su prelazne procese inicirane uvođenjem spoljnog poremećaja u obliku nagle (step) promene protoka vode u jednom od paralelnih kanala. Merenja su vršena u režimima paralelnog i pojedinačnog rada kanala.

### 1. UVOD

Nestacionarno strujanje dvofazne smeše u paralelnim kanalima predstavlja složeni dinamički proces koji pri pojavi spoljnih ili unutrašnjih poremećaja u jednom ili više kanala inicira određene mehanizme međusobnog hidrodinamičkog delovanja kanala. Step međusobnog delovanja vezan je za broj kanala i karakteristične načine preraspodele parametara unutar paralelnih kanala. U odnosu na zakone konzervacije, preraspodela parametara u sistemima dva paralelna kanala je jednoznačna, dok u sistemima i više paralelna kanala, sadrži neodređenosti koje predstavljaju dopunske stepene slobode načina preraspodele parametara unutar sistema paralelnih kanala. Način preraspodele parametara karakteriše uzajamni uticaj paralelnih kanala.

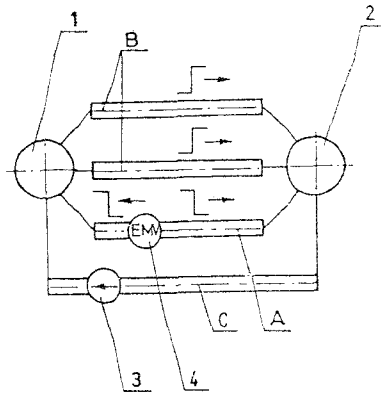
U ovom radu, za izvršena eksperimentalna istraživanja nestacionarnih režima strujanja u tri paralelna vertikalna kanala [1,2,3], daju se rezultati analize mehanizama fizičkih procesa međukanalnih sprega paralelnih kanala za adijabatske uslove strujanja jednofaznog fluida i dvofazne smeše. Razmatraju se mehanizmi preraspodele, karakter prelaznog procesa, nelinearnost, promena oscilatornih karakteristika uslova oscilatorne stabilnosti kanala.

### 2. EKSPERIMENTALNI UREDJAJ

Eksperimentalno proučavanje fenomena nestacionarnog strujanja dvofazne smeše vršeno je u adijabatskim uslovima strujanja dvokomponentne smeše voda-vazduh u tri paralelna vertikalna eksperimentalna kanala [1]. Pogodnim izborom geometrije kanala i parametara režima strujanja, obezbeđena je hidrodinamička neravnomernost paralelnih kanala i ostvareni

### 3. MEHANIZMI I EFEKTI PRERASPODELE

Uvođenjem poremećaja u obliku naglog povećanja lokalnog otpora pobudnog kanala (zatvaranje elektromagnetnog ventila), narušava se uslov paralelnosti, odnosno jednakost napornih i otpornih sila, u sistemu paralelnih kanala. Zbog toga dolazi do mehaničke neravnoteže koja pokreće prelazni proces preraspodele parametara koji teži ka ponovnom uspostavljanju uslova paralelnosti.



Slika 1 - Šema prostiranja poremećaja u paralelnim kanalima

A - pobudni kanal, B - nepobudni kanal,  
 C - glavno kolo, 1 - ulazni kolektor,  
 2 - izlazni kolektor, 3 - cirkulaciona pumpa,  
 4 - elektromagnetni ventil

Proces preraspodele parametara i prelaza u novo stacionarno stanje odvija se pod uticajem prostiranja talasa poremećaja pritiska i obuhvata mehanizme ujednačavanja napora cirkulacione pumpe i otpornih sila u paralelnim kanalima i glavnom kolu. Fenomenološki, proces se može prikazati na sledeći način:

- poremećaji pritiska, generisani u pobudnom kanalu, na ulaznom i izlaznom delu EM ventila, kreću se u obliku talasa u suprotnim smerovima. Talas nižeg pritiska kreće se nizvodno samo kroz pobudni kanal, dok se talas višeg pritiska kreće uzvodno kroz pobudni kanal i glavno kolo, a nizvodno kroz druge paralelne kanale kola (slika 1);

- pod uticajem talasa nižeg pritiska u pobudnom kanalu opada protok vode i pad pritiska, dok pod uticajem talasa višeg pritiska raste pritisak u ulaznom kolektoru;

- porast pritiska u ulaznom kolektoru prenosi se na dva nepobudjena paralelna kanala (drugi i treći kanal kola) i glavno kolo, zbog čega u nepobudjenim kanalima dolazi do porasta protoka vode i pada pritiska, dok se u ulaznom kolektoru, sa strane glavnog kola, javlja debalans pritiska i napora cirkulacione pumpe. Da bi se zadovoljio porast pritiska u kolektoru, pritisak na potisu pumpe raste i pumpa se pomera na novu radnu tačku sa nižim protokom;

- promene nastale u radu pumpe vraćaju se u kolo i u iterativnom procesu vrši se dalja preraspodela parametara izmedju paralelnih kanala i glavnog kola sve do uspostavljanja uslova paralelnosti, odnosno novog stacionarnog stanja.

Potpunija slika procesa obuhvata i efekte kompresibilnosti. S obzirom na međusobnu zavisnost pada pritiska, protoka vode, pritiska u mešaču i protoka vazduha prikazana slika se usložnjava.

Eksperimentalni rezultati pokazuju da se efekti medju kanalnih sprega hidrodinamičke preraspodele ogledaju u povećanju pritiska u donjem kolektoru za 24-31%, promeni hidrauličkog otpora kanala u opsegu (-23-315) % pri čemu se u pobudnom kanalu hidraulički otpor povećava za 267-315 %, dok se u druga dva kanala smanjuje za 9-23%. Zbog porasta pritiska u kolektoru i promeni hidrauličkog otpora kanala protok u glavnom kolu se smanjuje za 2,9-8,5% a po kanalima se menja u sledećim opsezima:

- u pobudnom kanalu opada za 40,3-45,0%
- u drugom kanalu raste za 17,2-23,5%
- u trećem kanalu raste za 18,2-24,4%

U odnosu na protok u glavnom kolu, raspodela protoka vode po kanalima ima vrednosti: 24,1:14,6:61,3%, respektivno, za prvi, drugi i treći kanal, dok je početnom stacionarnom stanju iznosila 40,5:11,5:48%.

#### 4. KARAKTER PRELAZNOG PROCESA

Karakter prelaznog procesa određuje zakonitost procesa preraspodele. Izvršene analize pokazuju da je osnovni karakter kriva prelaznog procesa pada pritiska eksponencijalni ili periodični i da zavisi od vrste kanala i njihovih radnih režima.

Kriva prelaznog procesa pobudnog kanala imaju opadajući karakter, pri čemu je brzina opadanja različita i zavisi od režima rada kanala, dok krive prelaznog procesa neporemećenih kanala i glavnog kola uvek rastu, ali sa drugim oblikom, zavisnim od režima u posmatranom kanalu.

Pri jednofaznom strujanju, smanjenje protoka vode u procesu preraspodele parametara, smanjuje prigušenje eksponencijalnih krivih prelaznog procesa i dovodi do prelaza u periodični oblik. Smanjenje protoka vode pri dvofaznom strujanju dovodi do oscilatornosti i pojave nelinearnih efekata.

#### 5. PROMENA OSCILATORNIH KARAKTERISTIKA I USLOVA STABILNOSTI

Oscilatorne karakteristike predstavljaju složeno periodične, vremenske promene parametara stacionarnog stanja koje se javljaju, kada kompresibilne sile postanu dominantnije nad disipativnim, frikcionim silama u dvofaznim delovima paralelnih kanala. U procesu hidrodinamičke preraspodele parametara kompresibilne sile se povećavaju, a disipativne se smanjuju u slučaju pobudnog kanala, dok se u slučaju druga dva kanala povećavaju disipativne, a smanjuju kompresibilne sile. Zbog toga u pobudnom kanalu dolazi do porasta amplituda oscilacija a time i smanjenja oscilatorne stabilnosti, dok u druga dva paralelna kanala, dolazi do smanjenja amplituda i povećanja oscilatorne stabilnosti (tabela 1). Pri tome se, pod oscilatorno stabilnim režimima podrazumevaju režimi sa amplitudama oscilacija do  $\pm 5\%$  odgovarajućeg stacionarnog stanja, a pod oscilatorno nestabilnim, režimi sa amplitudama većim od  $\pm 10\%$  [2,3].

Analiza vrednosti amplituda oscilovanja datih u tabeli 1 pokazuje, da se sa stanovišta oscilatornih karakteristika početnog i završnog stacionarnog

stanja, radni režimi mogu podeliti u tri grupe:

Tabela 1 Amplitude oscilacija pada pritiska  
Paralelni rad kanala (%)

No.	početno stanje				završno stanje			
	1k	2k	3k	Gl.k	1k	2k	3k	Gl.k
jednofazni režimi								
1A	0.50	0.69	0.37	.71	0.59	0.87	0.59	.60
2A	0.70	1.40	1.77	.35	2.01	0.94	1.93	.48
3A	0.69	2.98	0.53	.39	2.82	2.14	0.94	.89
4A	1.09	1.58	1.52	.40	2.18	1.89	1.17	.96
dvofazni režimi								
1B	2.78	38.7	1.13	.49	12.9	13.4	0.76	.57
2B	1.66	29.1	3.73	.50	6.96	16.7	2.24	1.0
3B	1.38	55.6	7.17	.41	8.94	7.47	4.11	.56
4B	2.54	81.9	11.9	.97	23.1	33.3	6.19	.99
1C	2.09	34.6	3.36	.43	20.2	19.1	1.40	.72
2C	2.11	47.2	8.90	.44	55.9	29.8	2.79	1.11
3C	4.74	47.9	2.01	.41	32.3	9.89	3.42	.88
4C	7.13	93.9	27.1	.93	20.1	37.1	10.8	.75

- prva grupa obuhvata režime kod kojih je početno i završno stacionarno stanje oscilatorno stabilno odnosno, kod kojih su u režimima početnog i završnog stacionarnog stanja amplitude oscilacije pada pritiska manje od  $\pm 5\%$  vrednosti posmatranog stacionarnog stanja;

- druga grupa obuhvata režime kod kojih u toku hidrodinamičke redistribucije dolazi do promene karaktera oscilatornog stanja; sa oscilatorno stabilnog prelazi se na oscilatorno nestabilno stanje ili se sa oscilatorno nestabilnog prelazi na oscilatorno stabilno stanje;

- treća grupa obuhvata režime kod kojih je početno i završno stanje oscilatorno nestabilno, odnosno, kod kojih se u režimima početnog i završnog stacionarnog stanja javljaju oscilacije pada pritiska sa amplitudama većim od  $\pm 10\%$  vrednosti posmatranog stacionarnog stanja.

Analiza rezultata prikazanih u tabeli 1 sa stanovišta oscilatornih karakteristika paralelnog rada kanala u početnom i završnom stacionarnom stanju, pokazuje da se pri paralelnom radu kanala mogu javiti režimi u kojima su: sva tri kanala oscilatorno stabilna; dva kanala oscilatorno stabilna, dok je treći oscilatorno nestabilan; jedan kanal oscilatorno stabilan a dva kanala oscilatorno nestabilna; sva tri kanala oscilatorno nestabilna.

Oscilatorne karakteristike paralelnih kanala vezane su za nivo stacionarnih režimskih parametara i predstavljaju specifičnost svakog stacionarnog stanja, početnog ili završnog. Medjusobno delovanje kanala odvija se preko vremenske preraspodele parametara, tako da završno stacionarno stanje zavisi od parametara početnog stacionarnog stanja kanala i kola u celini, i načina odvijanja prelaznog procesa dinamičke redistribucije. Zbog toga, način prelaska sa početnog na završno stacionarno stanje sadrži efekte uzajamnog uticaja paralelnih kanala.

## 6. NELINEARNOST

Nelinearnost odnosno linearnost karakteristika prelaznih procesa predstavlja značajnu osobinu nestacionarnog strujanja dvofazne smeše. Identifikacija linearnosti, odnosno nelinearnosti eksperimentalnih prelaznih procesa izvršena je uporednom analizom eksperimentalnih kriva prelaznih procesa kanala i analitičkih vremenskih odziva prenosnih funkcija kanala.

Rezultati analize pokazuju da se nelinearni karakter prelaznog procesa javlja u onim režimima u kojima su oba stacionarna stanja, početno i završno, oscilatorno nestabilna. To su svi dvofazni režimi drugog kanala i dvofazni režimi prvog i trećeg kanala sa najmanjim protokom vode u uslovima pojedinačnog rada kanala.

Linearni karakter prelaznog procesa javlja se u režimima u kojima su oba stacionarna stanja stabilna i u režimima u kojima je jedno stacionarno stanje stabilno, a drugo nestabilno. Ovo obuhvata i dvofazne režime prvog kanala sa stabilnim početnim i nestabilnim završnim stacionarnim stanjem, za koje bi se očekivalo da imaju nelinearni prelazni proces. Razlog linearnom prelaznom procesu u prvom kanalu leži u većem uticaju izvora pobude na karakter prelaznog procesa od uticaja režimskih parametara strujanja.

Linearni karakter prelaznog procesa vezan je za zavisnosti drugog reda sa koeficijentom prigušenja većim ili manjim od jedinice. Faktor prigušenja manji od jedinice imaju, u osnovi, jednofazni režimi, odnosno oni režimi, koji u početnom i završnom stacionarnom stanju imaju odnos pada pritiska na dvofaznom delu kanala i ukupnog pada pritiska na kanalu (faktor BRR) manji od 0.01. Ovakvi parametri dovode do izrazito oscilatornog prelaznog procesa, što predstavlja posledicu vrlo male razlike frikcione i kompresibilne sile. Ostali radni režimi imaju faktor prigušenja veći od jedinice i eksponencijalni prelazni proces drugog reda.

Uparedna analiza prelaznih procesa po kanalima pokazuje da su u jednofaznim režimima paralelnog rada kanala, svi prelazni procesi linearni i da u prvom i trećem kanalu imaju faktor prigušenja veći od jedinice, a u drugom manji od jedinice. U dvofaznim režimima, drugi kanal je uvek nelinearan, dok su prelazni procesi u prvom i trećem kanalu linearni, sa faktorom prigušenja, u osnovi, manjim od jedinice.

## 7. ZAKLJUČAK

Medjukanalne sprege paralelnih kanala javljaju se u dinamičkim režimima i predstavljaju način promene parametara sistema u procesu uspostavljanja uslova paralelnosti. Promenu karakteriše uspostavljanje novog nivoa stacionarnog stanja, način redistribucije, promena oscilatornih karakteristika, uslova oscilatorne stabilnosti i linearnosti kanala.

## 8. LITERATURA

- [1] V. Jović, N. Afgan, L. Jović:  
"Hidrodinamička karakterizacija stacionarnih režima strujanja dvofazne smeše u paralelnim kanalima", *Termotehnika*, vol. XVIII, No. 114, Beograd 1992. str. 79-96.

- [2] V. Jović, N. Afgan, L. Jović, D. Spasojević:  
"Hidrodinamička nestabilnost paralelnih vertikalnih kanala sa dvofaznim tokom", *Termotehnika*, vol. XIX, No. 112, Beograd 1993, str. 97-106.

- [3] V. Jović, N. Afgan, L. Jović, D. Spasojević:  
"An experimental study of the pressure drop oscillations in three parallel channel two-phase flow", *Proc. X Int. Heat Transfer Conf. Brighton, Engleska, 14-18 august 1994*, vol. VI, pp. 193-198.

Abstract - Parallel channels interactions are examined. For experimental researches of nonstationary regimes flow in three parallel vertical channels results of phenomenon analysis and mechanisms of parallel channel interaction for adiabatic condition of one-phase fluid and two-phase mixture flow are shown.

## PARALLEL INTERCHANNEL INTERACTION MECHANISMS

V. Jović, N. Afgan, L. Jović