

Vpliv specifične hitrosti črpalnih turbin na hidravlične prehodne pojave

Zdravko Giljen^{1,*} – Miloš Nedeljković¹ – Yongguang Cheng²

¹ Univerza v Beogradu, Fakulteta za strojništvo, Srbija

² Univerza v Vuhanu, Državni laboratorij za vodne vire in hidroenergetiko, Kitajska

Glavni namen članka je analiza prehodnih pojavov pri različnih specifičnih hitrostih (nq) za tri modelne črpalne turbine, namenjene črpalni hidroelektrarni Bajina Bašta, ter analiza trajektorij delovnih točk med prehodnimi pojavi za vse tri črpalne turbine ($nq = 27, 38$ in 50). Predmet raziskave so krivulje karakteristik v štirih kvadrantih (4Q), podane v obliki Suterjevih krivulj (dobavna višina in moment Wh in Wm v odvisnosti od kota θ) za različna odprtja vodilnika treh modelnih črpalnih turbin pri različnih specifičnih hitrostih. Karakteristike 4Q so bile uporabljene kot vhodni podatki za razvoj numerične kode za preračun sočasne razbremenitve obeh črpalnih turbin. Opredeljeni so robni pogoji za vsako vozlišče (črpalno turbino). Avtorji so razvili numerično kodo za preračun prehodnih pojavov na podlagi metode karakteristik (MOC) (ta je bila pozneje nadgrajena z analizo vedenja sistema krmiljenja) ter jo uporabili na testnem primeru ČHE Bajina Bašta za izračun prehodnih pojavov in trajektorije delovne točke med zaustavitvijo. Matematični model je oblikovan na podlagi rezultatov preizkusov modelne črpalne turbine (karakteristike 4Q so podane v obliki Suterjevih krivulj Wh in Wm) ter enačb dinamike enote. Upoštevane so vse komponente hidravličnega sistema ČHE Bajina Bašta z ustreznimi enačbami. Predstavljena je primerjava izračunov za ČHE Bajina Bašta (dobavna višina spiralnega ohišja, pretok, vrtilna hitrost in dobavna višina sesalne cevi), ki razkriva znatne razlike med vrednostmi za različne specifične hitrosti. Podani so rezultati izračunov za prehodne pojave dveh črpalnih turbin v ČHE Bajina Bašta ob sočasni razbremenitvi črpalne turbine 1 pri moči 281 MW (turbinski način) in črpalne turbine 2 pri moči 284 MW (turbinski način, vrednosti moči so bile izmerjene med dejansko razbremenitvijo). Pri vrednosti $nq = 27$ (izvirna specifična hitrost črpalnih turbin v ČHE) je rezultate izračunov mogoče primerjati s terenskimi meritvami, medtem ko je za vrednosti $nq = 38$ in $nq = 50$ mogoče predstaviti samo rezultate izračunov.

Uporabljen je bil pristop z analizo negativnega vpliva specifične hitrosti nq med prehodnim pojavom na črpalni turbini. V teoretičnem delu študije je podan pregled literature na temo raziskav prehodnih pojavov na črpalnih turbinah in črpalnikih. Predstavljeni so analiza rezultatov izračunov prehodnih pojavov na dveh črpalnih turbinah (pri različnih vrednostih $nq = 27, 38$ in 50), spremembe tlaka v spiralnem ohišju, tlak v sesalni cevi, vrtilna hitrost, pretok in odprtje vodilnika. Analiziran je vpliv specifične hitrosti nq na prehodne pojave.

Predstavljeni so izračuni sprememb tlaka, vrtilne hitrosti in pretoka v obratovalnih režimih postroja, pomembna pa je predvsem uporaba teh rezultatov za določitev parametričnih trajektorij pretoka in hitrosti ($Q_{11} - n_{11}$) za delovne točke. Opisano je nestabilno vedenje črpalne turbine v turbinskem režimu. Trajektorije periodično potekajo tudi skozi območje vzratnega črpanja, kar je še posebej izraženo ob karakterističnih S-krivuljah in lahko povzroči večje nestabilnosti obratovanja med prehodnimi pojavi.

Rezultati izračunov so bili potrjeni s terenskimi preizkusi. Primerjavo izmerjenih vrednosti in izračunov ovirajo negotovosti, povezane s terenskimi meritvami. Težavo pri vodnih sistemih predstavlja neznana količina zraka, ki je ujet na določenih mestih v sistemu. Med prehodnimi pojavi lahko pride do izločanja raztopljenih plinov v območjih nizkega tlaka. Izločitev manjših količin plina ima velik vpliv na valovno hitrost, ta pojav pa znatno vpliva na čas in velikost tlaka. Dejanske karakteristike črpalnih turbin, črpalnik in turbin za vse delovne cone turbostrojev v primeru odpovedi niso znane. Računalniške simulacije niso vključevale vseh omenjenih parametrov, zato je mogoče pričakovati določene napake oz. neujemanje izračunov z meritvami.

Predstavljena je primerjava izračunov za ČHE Bajina Bašta (dobavna višina spiralnega ohišja, pretok, vrtilna hitrost in dobavna višina sesalne cevi), ki razkriva znatne razlike med rezultati za različne specifične hitrosti. Iz tega sledi sklep, da različne specifične hitrosti signifikantno vplivajo na prehodne pojave v črpalnih turbinah. Pomemben prispevek članka je podrobna analiza trajektorije delovne točke med prehodnimi pojavi za vse tri modele črpalnih turbin. Delovna točka se premika iz turbinske cone (III) v cono vzratnega črpanja (IV), črpalna turbina pa deluje vzdolž karakteristične S-krivulje. To povzroča težave pri razbremenitvi zaradi neobičajnega povišanja vodnega tlaka in okrepitve vibracij, ki ogrožajo stabilnost stroja. Pričujoča analiza prvič kvantitativno razkriva negativni vpliv specifične hitrosti nq na tovrstno vedenje strojev. Predstavljeni rezultati bodo uporabni za projektante črpalnih hidroelektrarn pri izbiri gonilnikov s primerno specifično hitrostjo nq .

Ključne besede: hidravlični prehodni pojavi, črpalna turbina, vpliv specifične hitrosti, razbremenitev, trajektorija delovne točke, metoda karakteristik