

Vpliv porazdelitve točk merjenja vibracij in hrupa na njihovo občutljivost pri diagnosticiranju kavitacije črpalk

Runze Zhou^{1,*} – Hui Chen^{2,3} – Liang Dong⁴ – Houlin Liu⁴ – Zeyu Chen¹ – Yuhang Zhang¹ – Zhiming Cheng¹

¹Univerza Jiangsu Zhenjiang, Raziskovalno središče za fluidno tehniko, Kitajska

²Znanstveno-tehnološki laboratorij za raketne motorje na tekoče gorivo, Kitajska

³Inštitut za letalsko in vesoljsko pogonsko tehniko Xi'an, Kitajska

⁴Univerza Jiangsu, Nacionalno raziskovalno središče za črpalke, Kitajska

Kavitacija je glavni povzročitelj slabšanja hidravlične učinkovitosti centrifugalnih črpalk in pomemben kazalnik njihove zmogljivosti. Kavitacije ni mogoče popolnoma omejiti in za zanesljivo delovanje črpalk je nujno učinkovito zaznavanje pojava in razvoja kavitacije, kakor tudi izbira ustreznih obratovalnih pogojev, ki kavitacijo vnaprej preprečijo. Proces kavitacije se deli v faze nastanka, razvoja in degradacije. Za različne faze je značilno spreminjanje veličin, kot so tlak, vibracije in raven hrupa. Na podlagi teh sprememb je mogoče napovedovati intenzivnost kavitacije, kar je že potrdilo več raziskav, manjkajo pa študije občutljivosti napovedovanja kavitacije na porazdelitev merilnih točk. Signali vibracij na različnih mestih imajo v praksi različne lastnosti. Učinkovitost napovedovanja kavitacije je v različni meri občutljiva tudi na hrup, ki se prenaša po kapljevini, in na lastnosti tlačnih impulzov. Članek zato obravnava vpliv porazdelitve merilnih točk za vibracije in hrup na občutljivost diagnosticiranja kavitacije, ter določitev optimalnih mest za merilne točke z namenom izboljšanja točnosti in učinkovitosti diagnosticiranja kavitacije. Za točnejše zaznavanje kavitacije je bil preučen vpliv porazdelitve merilnih točk na občutljivost diagnosticiranja kavitacije pri centrifugalnih črpalkah. Predmet raziskave je centrifugalna črpalka s predstopnjo (inducerjem) in delilnimi lopaticami. Za zajem signalov vibracij in hrupa, ki se prenaša po kapljevini, so bili uporabljeni pospeškometri in hidrofoni v različnih točkah na črpalci. Spekter signala vibracij in hrupa pri različnih vrednostih NPSH je bil konstruiran po metodah kvadratične sredine (RMS) in hitre Fourierjeve transformacije (FFT) za primerjavo občutljivosti merilnih točk na nastanek in razvoj kavitacije. Uporabljena sta bila tudi model turbulence SST $k-\omega$ in Zwartov model kavitacije za analizo porazdelitve kavitacijskega volumna v črpalci v različnih fazah kavitacije. S postavitvijo nadzornih točk na izhodu iz rotorja je bila preučena tudi porazdelitev signala tlačnih impulzov v frekvenčni domeni. Izmerjeni so bili tok motorja, tlačni impulzi, vibracije in hrup med kavitacijskim preizkusom s fiksnim ventilom. Signali so bili nato obdelani z izračunom kvadratične sredine, hitro Fourierjevo transformacijo in izračunom ravni zvočnega tlaka, temu pa je sledila kvantitativna primerjava občutljivosti napovedovanja kavitacije v različnih merilnih točkah. V kombinaciji z računalniško dinamiko fluidov so bile analizirane lastnosti razvoja kavitacije in tlačnih impulzov v črpalci. Pretok se v fazi razvoja kavitacije zmanjšuje počasneje od sesalne višine. Ko se sesalna višina zmanjša za 3 %, se pretok zmanjša za približno 2,8 %. V določeni meri se zmanjša tudi tok motorja. Ko je vrednost NPSH manjša od 0,5 m, tok naglo upade za približno 12 %. Raven vibracijskih pospeškov se signifikantno poveča v vseh merilnih točkah. Merilni točki na vstopni prirobnici in v osi ohišja črpalke sta občutljivejši za napovedovanje kavitacije in v obeh je bil zabeležen 0,6-odstotni upad. Frekvenčni pas okrog vrha signala hrupa se signifikantno skrči. V delovni točki NPSH_r se raven zvočnega tlaka oz. hrupa na vstopu zmanjša za 14 %, na izstopu pa za 1 %. Za napovedovanje kavitacije je zato primernejša vstopna merilna točka za hrup, ki se prenaša po kapljevini. Intenzivnost tlačnih impulzov na vhodu se zmanjšuje, medtem ko je trend na izhodu ravno obraten. Spremembe intenzivnosti tlačnih impulzov so bolj izražene na vhodu kot na izhodu. Ko se sesalna višina zmanjša za 3 %, se intenzivnost impulzov zmanjša za 66,3 % na vhodu in za 13,9 % na izhodu. Glavna frekvenca signala tlačnih impulzov je porazdeljena okrog frekvence prehoda lopatic fBPF. Z razvojem kavitacije se pojavita vpliv harmonikov na glavno frekvenco in premik nekaterih glavnih frekvenc. Merilne točke za vibracije, hrup v kapljevini in tlačne impulze na vstopni prirobnici in v osi ohišja črpalke imajo dobro občutljivost in so primerne za diagnosticiranje kavitacije.

Predlagano razporeditev merilnih točk za diagnosticiranje kavitacije bo mogoče uporabiti tudi pri drugih črpalkah. Metodo bo mogoče razširiti za diagnosticiranje ostalih napak pri črpalkah, kot so poškodbe rotorja, napake poravnave gredi in neuravnoveženost gredi. Zaradi mejnih vrednosti napovedovanja signalov napak je treba vsakokrat upoštevati značilnosti in zahteve za konkretno vrsto črpalke.

V nadaljnjih študijah bo mogoče natančnost diagnosticiranja kavitacije še dodatno izboljšati. Članek razkriva spektralne lastnosti tlačnih impulzov, vibracij in hrupa pri centrifugalnih črpalkah, ko se razvije kavitacija. Preskusi kavitacije so bili opravljeni s fiksnim ventilom in ta metoda je bolj realistična. Preverjena je bila občutljivost metode diagnosticiranja kavitacije in predlagana je optimalna porazdelitev merilnih točk. Članek tako ponuja izhodišča za izboljševanje učinkovitosti in točnosti diagnosticiranja kavitacije.

Ključne besede: diagnosticiranje kavitacije, centrifugalna črpalka, vibracije in hrup, občutljivost merilnih točk, spektralna analiza