Analitičko definisanje vremena zatvaranja kombinovanih protivudarnih ventila sa membranom za regulaciju natpritiska

Uvod

U radu je analitički definisano vreme zatvaranja kombinovanog protivudarnog ventila za regulaciju natpritiska i zaštitu od prodora vazdušno-udarnog talasa u unutrašnjost objekta, nastalog pri nuklearnoj eksploziji.

Cilj rada je nalaženje analitičkog izraza vremena zatvaranja ventila, u zavisnosti od radnih i geometrijskih parametara ventila. Zatim, da se na osnovu analize teorijski izvedenog analitičkog izraza vremena zatvaranja ventila, izvrši izbor optimalnih i univerzalnih rešenja ventila nazivnih prečnika 100, 150 i 200 mm, otpornosti 300, 600 i 900 kPa.

Protivudarni ventil za regulaciju natpritiska u objektu

Uloga i namena

U svim uslovima ventilacije u objektu je potrebno održavati natpritisak u odnosu na spoljnu atmosferu, kako bi se sprečio prodor RHB-kontaminacije. Natpritisak je potrebno održavati i između pojedinih prostorija u sklopu objekta, radi posredne ventilacije sporednih prostorija objekta.

Vazduh koji se dovodi u objekat za ventilaciju, odvodi se u određenoj količini u spoljnu atmosferu kroz izduv-

ne kanale. Protok vazduha kroz kanale uslovljen je natpritiskom u objektu. Da bi se on održavao u propisanim granicama, na otvorima se postavljaju ventili za njegovu regulaciju.

Osnovni zadatak ventila je da regulišu odvod istrošenog vazduha iz objekta, čime se reguliše natpritisak u objektu.

Sl. 1 Kombinovani protivudarni ventil za regulaciju natpritiska:

1 — telo ventila; 2 — disk; 3 — držač diska; 4 — osovina; 5 — osovina; 6 — zaptivač; 7 — opruga; 8 — tanjir; 9 — »0«-prsten; 10 — zaptivač; 11 — navrtka.

Predmet ovog rada su protivudarni ventili za regulaciju natpritiska, otporni na dejstvo VUT-a, koji se ugrađuju na spoljnim zidovima objekta. Konceptija i konstrukciona rešenja ovih ventila trebalo bi da obezbede njihovu otpornost i funkcionalnost pri visokim udarnim opterećenjima, tj. njihovo zatvaranje pri dejstvu VUT-a i otvaranje po prestanku njegovog dejstva, čime se obezbeđuje slobodan odvod istrošenog vazduha iz objekta. Na slici 1 dat je šematski izgled protivudarnog ventila za regulaciju natpritiska sa membranom.

Funkcija protivudarnog ventila za regulaciju natpritiska

Pri nailasku vazdušnoudarnog talasa na objekat usmereni talas kroz kanal protivudarnog ventila za regulaciju natpritiska (u daljem tekstu ventila), dejstvom pritiska na površinu membrane, naglo zatvara otvor na izlaznomvodu. Proces zatvaranja ventila odvija se u kratkom vremenskom intervalu, zahvaljujući visokom udarnom opterećenju i maloj masi pokretnog sklopa ventila. Ventil je zatvoren sve dok se spoljašnja atmosfera nalazi pod natpritiskom. Kada nastupi negativna faza VUT-a, pokretni tanjir (8) ventila pod dejstvom potpritiska naglo će se pomeriti i prekinuti vezu sa spoljnom atmosferom. Po prestanku dejstva VUT-a, membrana ventila pod dejstvom sile usled isticanja vazduha dovodi se u otvoren položaj.

Nalaženje analitičkog izraza vremena zatvaranja ventila

Kod ovog ventila u eksploataciji mogu da nastupe dva granična slučaja, i to:

— membrana ventila u otvorenom položaju za ugao (φ_0) pod dejstvom sile usled isticanja vazduha, i

— membrana ventila u zatvorenom položaju, za slučaj kada nastane

prekid odvoda vazduha, tj. kada u objektu ne vlada natpritisak.

U okviru rada razmatraće se nepovoljniji slučaj, tj. kada je membrana ventila u otvorenom položaju pri nailasku VUT-a, nastalog pri nuklearnoj eksploziji.

Određivanje analitičkog izraza vremena zatvaranja ventila

Mehanički model ventila prikazan je na slici 2.

Sl. 2 Mehanički model pokretnog sklopa protivudarnog ventila za regulaciju natpritiska

Membrana ventila sa uglom otklona φ u trenutku t , pod dejstvom prinudne sile F_p , kreće se u zatvoren položaj. Na membranu deluju momenti koji potiču od inercijalne sile $J \cdot \frac{d^2\varphi}{dt^2}$, moment od mase pokretnog sklopa ventila $m_g x_T \sin \varphi$ i moment od prinudne sile $F_p x_T \cos \varphi$. Neka je početni ugao otklona membrane ventila od položaja u kojem je ventil zatvoren φ_0 .

Ako postavimo momentnu jednačinu za obrtnu tačku pokretnog sklopa ventila, mase m (sl. 2):

$$J \cdot \frac{d^2\varphi}{dt^2} = -(F_p x_T \cos \varphi + mg x_T \sin \varphi), \quad (1)$$

dobija se diferencijalna jednačina sistema, oblika:

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} = -(F_p x_T \cos \varphi + mg x_T \sin \varphi) \cdot \frac{1}{J} \quad (2)$$

gde je:

$\frac{d^2\varphi}{dt^2}$ — ugaono ubrzanje pokretnog sklopa,

m — masa pokretnog sklopa,

x_T — rastojanje težišta membrane ventila od obrtne tačke,

F_p — prinudna sila, koja deluje na membranu ventila,

φ — ugao otklona membrane ventila u trenutku t .

Analitički izraz za prinudnu silu F_p ima oblik:

$$F_p = p_f A \left(1 - \frac{t}{\tau}\right)^n, \text{ odnosno} \quad (3)$$

$$F_p = p_f A \left(1 - \frac{t}{\tau}\right)^2$$

gde je:

p_f — pritisak u frontu vazdušno-udarnog talasa,

A — površina membrane ventila,

t — vreme za koje se odvija kretanje membrane ventila i ono je reda veličine milisekunde,

τ — vreme trajanja pozitivne faze VUT-a u sekundama,

n — eksponent zavisan od nivoa reflektovanog pritiska (detaljnije vidi [2], [3], [4], [5]).

U konkretnom slučaju eksponentu n je dodeljena vrednost 2. Pošto je $\frac{t}{\tau} \ll 1$, ovaj odnos se može i zanemariti u odnosu na jedinicu, a nameće se zaključak da veličina eksponenta n nema uticaja na proces zatvaranja ventila, pa

je svejedno koju vrednost dodeljujemo eksponentu n .

Izraz za prinudnu silu F_p ima oblik:

$$F_p = p_f \pi R_2^2 \quad (4)$$

gde je

R_2 — spoljni prečnik membrane ventila.

Diferencijalna jednačina sistema (2) može da se napiše u obliku:

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} = (-p_f R_2^2 \pi x_T \cos \varphi - mg x_T \sin \varphi) \cdot \frac{1}{J} \quad (5)$$

Nakon dvostruke integracije diferencijalne jednačine (5) i uvođenja početnih uslova:

$$1. \quad t=0; \quad \varphi = \varphi_0$$

$$2. \quad t=0; \quad \frac{d\varphi}{dt} = \dot{\varphi} = 0,$$

rešenje diferencijalne jednačine ima oblik:

$$\varphi_0 - \varphi = (p_f R_2^2 \pi x_T \cos \varphi + mg x_T \sin \varphi) \cdot \frac{t^2}{2J} \quad (6)$$

Rešenjem jednačine (6) po t , uz granični uslov $t = T_z$ za $\varphi = 0$, analitički izraz vremena zatvaranja ventila ima oblik:

$$T_z = \left(\frac{2J\varphi_0^2}{gm_D x_T \sin \varphi_0 + p_f R_2^2 \pi x_T \cos \varphi_0} \right)^{1/2} \quad (7)$$

U izrazu (7) figurišu veličine:

J — moment inercije pokretnog sklopa ventila za osu koja prolazi kroz obrtnu tačku,

m — masa pokretnog sklopa ventila ($m = m_D$),

x_T — rastojanje težišta pokretnog sklopa ventila od obrtne tačke,

p_f — pritisak u frontu direktnog VUT-a, i

φ_0 — ugao otklona pokretnog sklopa ventila, koje je potrebno analitički definisati, $\left(\varphi_0^r = \frac{\pi}{180} \varphi_0\right)$.

Moment inercije pokretnog sklopa J definiše se po Steinerovoj teoremi (vidi sl. 3);

$$J = J_D + m_D a^2 + J_d + m_d a_1 \quad (8)$$

gde je:

J_D — moment inercije diska za težišnu osu,

m_D — masa diska ventila,

J_d — moment inercije držača diska za težišnu osu,

m_d — masa držača diska,

$a = x_T$, i

a_1 — rastojanje težišta držača diska od ose.

Na slici 2 dat je šematski prikaz pokretnog sklopa protivudarnog ventila za regulaciju natpritiska.

Analitički izraz momenta inercije diska ventila glasi:

$$J_D = \frac{2\pi\delta\gamma}{4000} \left[R^4 + \frac{1}{\cos \alpha} (R_1^4 - R^4) + R_2^4 - R_1^4 \right] \quad (9)$$

gde je:

δ [mm] — debljina materijala diska,

γ [kg/m³] — zapreminska masa materijala diska ventila,

R, R_1 i R_2 [m] — odgovarajući poluprečnici diska ventila (vidi sl. 3), i

$\alpha = 30^\circ$ — ugao nagiba diska ventila.

Na slici 3 prikazan je izgled membrane ventila.

Pošto je moment inercije držača diska ventila znatno manji od momenta inercije diska ($J_d \ll J_D$), to je J_d i zanemaren u odnosu na J_D .

Položajni moment inercije držača diska ventila je znatno manji od položajnog momenta inercije diska ventila

($m_d a_1^2 \ll m_D a^2$) pa je i zanemaren u odnosu na $m_D x_T^2$ ($a^2 = x_T^2$).

Sl. 3 Membrana protivudarnog ventila za regulaciju natpritiska

Pošto je $m_d \ll m_D$, masa pokretnog sklopa ventila je $m = m_D$.

Moment inercije pokretnog sklopa ventila za osu koja prolazi kroz obrtnu tačku O_1 iznosi:

$$J = J_D + m_D x_T^2 \quad (10)$$

Masa diska ventila definisana je izrazom:

$$m_D = \frac{\pi\delta\gamma}{1000} \left[R^2 + \frac{1}{\cos \alpha} (R_1^2 - R^2) + R_2^2 - R_1^2 \right] \quad (11)$$

Analitički izraz pritiska u frontu direktnog vazdušnoudarnog talasa u funkciji reflektovanog pritiska, vidi [3], definisan je izrazom:

$$p_r = 2p_t + \frac{6p_t^2}{p_t + 7,2} [\text{bar}] \quad (12)$$

U jednačini (12) p_r je reflektovani pritisak VUT-a, koji u ovom slučaju predstavlja nivo otpornosti ventila.

Uporedna analiza vremena zatvaranja ventila

Na konkretnom primeru lako je dokazati koja greška se čini kada se zanemari moment $mgx_T \sin \varphi_0$ u jednačini

Red. br.	Oznaka i veličina		Nazivni prečnik		
			PUVRN-100	PUVRN-150	PUVRN-200
1.	Poluprečnik diska ventila	$R[m]$	0,0125	0,021	0,025
2.	Poluprečnik diska ventila	$R_1[m]$	0,0525	0,0775	0,100
3.	Poluprečnik diska ventila	$R_2[m]$	0,060	0,0875	0,112
4.	Ugao nagiba diska	$\alpha[^\circ]$	30°	30°	30°
5.	Rastojanje težišta diska ventila od obrtne tačke	$x_T[m]$	0,078	0,105	0,148
6.	Zapreminska masa diska ventila	$\gamma[kg/m^3]$	2600	2600	2600
7.	Debljina diska ventila	$\delta[mm]$	2,5	2,5	2,0
8.	Vreme zatvaranja ventila otpornosti 900 kPa	$T_z[s]$	0,0020	0,0020	0,0020
9.	Pritisak u frontu direktnog VUT-a (za otpornost ventila 900 kPa)	$p_f[Pa]$	253000	253000	253000
10.	Ugao otklona membrane ventila	$\varphi[^\circ]$	40°	30°	30°

Sl. 4 Zavisnost vremena zatvaranja T_z protivudarnih ventila za regulaciju nadpritiska nazivnih prečnika 100, 150 i 200 mm od pritiska p u frontu direktnog VUT-a

(7) u odnosu na vreme zatvaranja ventila, kada se taj član ne zanemaruje. Umesto dokaza daju se zaključci:

— moment $mgx_T \sin \varphi$ nema uticaja na vreme zatvaranja ventila, te se za razmatrani slučaj može i zanemariti, a greška koja se pri tom čini iznosi 0,018%,

— vreme zatvaranja ventila u daljem radu računamo po obrascu:

$$T_z = \left[\frac{2(J_D + m_D x_T^2) \varphi_0^2}{p_{fi} \pi R_2^2 x_T \cos \varphi_0} \right] \quad (13)$$

Kriterijumi za izbor rešenja ventila

Analiza bi trebalo da pokaže da li su primenljivi isti kriterijumi za izbor univerzalnih rešenja ovih ventila, kao kod protivudarnih ventila za dovođ i odvod vazduha iz objekta, prema [4]. Izbor rešenja ventila vrši se iz uslova da su vremena zatvaranja ventila 2 ms za otpornosti ventila 900 kPa. Da bi se došlo do cilja postavljenog ovim radom, za ventile nazivnih prečnika 100, 150 i 200 mm, na osnovu analitičkih izraza kojima je definisan ventil i postavljeno kriterijuma vremena zatvaranja ventila 2 ms za ventile otpornosti 900 kPa, potrebno je izvršiti proveru date pretpostavke.

Tabelarni prikaz dimenzija i drugih podataka o ventilima nazivnih prečnika 100, 150 i 200 mm dat je u tabeli 1.

Na osnovu analitičkih izraza kojima je definisano vreme zatvaranja ventila i ulaznih podataka za ventile date

u tabeli 1 konstruisan je dijagram zavisnosti vremena zatvaranja ventila nazivnih prečnika 100, 150 i 200 mm od pritiska u frontu direktnog vazdušno-udarnog talasa, dat na slici 4.

Izbor optimalnih karakteristika ventila

Do optimalnih karakteristika ventila dolazi se iz uslova:

— da vreme zatvaranja ventila otpornosti 900 kPa bude 2 ms,

— da protok vazduha kroz ventil bude nominalan, i

— da otpor ventila bude manji od 200 Pa (detaljnije vidi [6]).

Zaključak

1. Postavljen je analitički izraz zatvaranja ventila u zavisnosti od pritiska u frontu vazdušno-udarnog talasa nuklearne eksplozije i geometrijskih karakteristika ventila.

2. Izraz je uopšten, pa je primenljiv za konstrukciju geometrijski sličnih ventila željenih nazivnih prečnika i otpornosti.

3. Iz uslova da je vreme zatvaranja ventila 2 ms za ventile otpornosti 900 kPa došlo se do kriterijuma za izbor optimalnih vremena zatvaranja ventila otpornosti 300 i 600 kPa, i to:

$T_z = 2,4$ ms — za ventile otpornosti 600 kPa,

$T_z = 3,2$ ms — za ventile otpornosti 300 kPa.

4. Potrebno je limitirati ugao otklona membrane ventila.

Literatura:

- [1] Vujanović, B.: »Dinamika«, Beograd, Naučna knjiga, 1976.
- [2] Mandić, J.: »Sistem zaštite u skloništim za kolektivnu zaštitu«, Novi Sad, Fakultet tehničkih nauka, 1979.
- [3] Mandić, J.: »Ostvarivanje udarnog kratkotrajnog impulsa pritiska u udarnim cevima izjednačavajućeg pritiska«, Novi Sad, Fakultet tehničkih nauka 1976.

- [4] Knežević, D.: »Iznalaženje analitičkog izraza vremena zatvaranja protivudarnih ventila«, naučno-tehnički pregled, XXXV, 1985, 9.
- [5] Knežević, D.: »Istraživanje optimalnih rešenja za zaštitu od vazdušno udarnih talasa nuklearne eksplozije u vazduhu i uporedna analiza teorijskih i eksperimentalnih rezultata«, magistarski rad, Novi Sad, 1983.
- [6] »Pravilnik o tehničkim normativima za izgradnju skloništa« (Sl. list SFRJ, br. 55/1983).