

ČESKOSLOVENSKÁ
SOCIALISTICKÁ
REPUBLIKA
(19)

POPIS VYNÁLEZU K AUTORSKÉMU OSVĚDČENÍ

251868
(11) (B1)



ÚŘAD PRO VYNÁLEZY
A OBJEVY

(22) Přihlášeno 07 02 85
(21) (PV 827-85)

(40) Zveřejněno 18 12 86

(45) Vydáno 15 07 88

(51) Int. Cl.⁴
G 21 D 1/04

(75)

Autor vynálezu

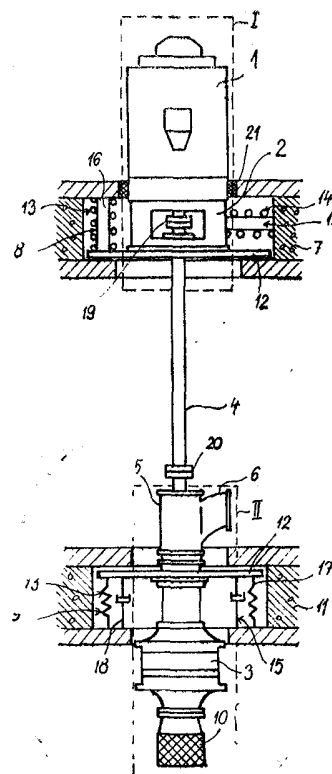
DOHNAL MIROSLAV RNDr., ROSEL JAROSLAV ing.,
ŠKARKA VLADIMÍR ing., OLOMOUC

(54) Agregát vertikálního čerpadla

1

Účelem řešení je zajistit spolehlivou funkci vertikálního čerpadla, zejména v jaderných elektrárnách v seismicky ohrožených oblastech. Uvedeného účelu se dosahuje tím, že elektromotor a/nebo čerpadlo je opatřeno pružným závěsem, jehož pružné prvky a tlumicí prvky jsou spojeny s nosnou částí budovy a jsou s výhodou rozmístěny v pravidelných rozestupech střídavě rovnoběžně nebo kolmo na podélnou osu agregátu.

2



Vynález se týká agregátu vertikálního čerpadla, zejména pro jaderné elektrárny v seismicky ohrožených oblastech.

Jedním z důležitých technologických zařízení jaderných elektráren jsou vertikální čerpadla, sloužící k čerpání požární, nebo technologicky důležité vody. U těchto čerpadel se vyžaduje spolehlivá funkce i při tak velikých zatíženích, ke kterým dochází v průběhu zemětřesení. Z tohoto důvodu se u vertikálních čerpadel, používaných v jaderné energetice, vyžaduje stejná odolnost proti seismickým účinkům jako u jiných důležitých technologických zařízení jaderných elektráren. V průběhu zemětřesení dochází u vertikálního čerpadla k vynucenému kmitání, které je vyvoláno kinematickým buzením v místě uchycení čerpadla k podlaží. Pro stanovení frekvenční odezvy agregátu vertikálního čerpadla se zpravidla uvádí akcelerogram nebo funkce frekvenční odezvy na podlaží v místě uchycení čerpadla. Funkce frekvenční odezvy se udává v pásmu 1–30 Hz. Z toho vyplývá, že všechny vlastní frekvence vertikálního čerpadla musí být v tomto pásmu potlačeny, nebo přeladěny nad 30 Hz. Přeladění vlastních frekvencí vertikálního čerpadla není vždy z praktických důvodů možné, protože tento požadavek naráží na velmi masivní konstrukci, na nedostatek kotvicích míst, nevhodné rozpětí stropů a jiné.

Stávající konstrukce vertikálních čerpadel jsou zakotveny do podlaží budovy prostřednictvím základové desky, případně desky mezistropu, která je upevněna k základovému ocelovému rámu, zabetonovanému v podlaží šroubovým spojem. Pohonný elektromotor čerpadla je spojen s lucernou přírubovým spojem a tato lucerna je stejným způsobem spojena se základovou deskou. Je-li v čerpací stanici mezistrop, pak jsou příruby stoupacího potrubí upevněny šroubovým spojem k desce mezistropu. V případě, že čerpadlo čerpá kapalinu z přetlakové nádrže, je mezistrop utěsněn ucpávkou. Popsané kotvení vertikálního čerpadla představuje prakticky tuhé spojení čerpacího agregátu s budovou elektrárny, takže v případě zemětřesení budou v plné intenzitě vybudeny všechny ohybové vlastní frekvence agregátu vertikálního čerpadla, tedy vlastní frekvence elektromotoru s lucernou, vlastní frekvence stoupacího potrubí, vlastní frekvence čerpadla s deskou mezistropu, hřídele čerpadla a celého soustrojí ve vertikálním směru. Vzhledem k tomu, že hmotnosti elektromotoru i čerpadla představují hodnotu až několika tun, a seismické zrychlení představuje až čtyřnásobek zemské tíže, budou přírubové spoje, šrouby základové desky i mezistropu, a ocelové rámy v podlaží namáhány značnými silami a momenty. Pokud některá z vlastních frekvencí nebude dostatečně tlumena, dojde k nepřipustnému kmitání čerpadla, což bude mít za následek destrukci a havárii čerpadla. Takovou mož-

nost nepřipouští ale bezpečnostní předpisy jaderných elektráren. Vzhledem k výše uvedeným skutečnostem je způsob ukotvení agregátů vertikálních čerpadel v jaderných elektrárnách nepřipustný.

Nevýhody a nedostatky známých řešení odstraňuje v podstatě vynález, kterým je agregát vertikálního čerpadla, zejména pro jaderné elektrárny v seismicky ohrožených oblastech, sestávající z pohonného elektromotoru a vlastního čerpadla spojených navzájem hřídelí, kde pohonný elektromotor spolu s lucernou tvoří první rezonanční soustavu a čerpadlo se stoupacím potrubím tvoří druhou rezonanční soustavu, přičemž každá z rezonančních soustav je uložena v nosné části budovy elektrárny a jeho podstata spočívá v tom, že alespoň jedna z rezonančních soustav je opatřena v místě svého uložení v nosné části budovy pružným závěsem sestávající ze soustavy pružných prvků a tlumicích prvků, přičemž pružné prvky a tlumicí prvky jsou spojeny jednak s nosnou částí budovy a jednak s příslušnou rezonanční soustavou.

Další podstatou vynálezu je, že pružné prvky a tlumicí prvky jsou rozmístěny v pravidelných rozestupech a to střídavě rovnoběžně s podélnou osou agregátu vertikálního čerpadla a kolmo na tuto osu.

Popsané řešení využívá vibropizolace. Tato metoda spočívá v tom, že agregát vertikálního čerpadla je k podlaží budovy uchycen prostřednictvím pružných a tlumicích prvků. Tím je určena mechanická rezonanční soustava s tlumeným kmitáním, jejíž vlastní frekvence je dána tuhostí pružného prvku a velikostí kmitající hmotnosti. Praktické konstrukční řešení ukotvení agregátu vertikálního čerpadla závisí na tom, zda bude využito vysokého nebo nízkého ladění dynamické soustavy. Při vysokém ladění je vlastní frekvence soustavy nad pásmem frekvencí generovaných zemětřesením. To je nevýhodné, protože převážná část energie seismického buzení je transformována na kinetickou energii kmitajícího agregátu vertikálního čerpadla, přičemž je nutno poměrně přesně stanovit parametry útlumu tlumicích prvků. Proto jako nejvýhodnější se jeví použití nízkého ladění dynamické soustavy, kdy vlastní frekvence odpruženého čerpadla je na počátku frekvenčního pásma seismického buzení, přibližně 5 Hz. Na rozdíl od předchozí alternativy se převážná část energie seismického buzení transformuje na potenciální energii — deformaci pružných prvků — která se posléze disipuje v tlumicích prvcích a vyzáří se ve formě tepla. Amplituda vynuceného kmitání čerpadla je dána vztahem

$$y = y_s \cdot \left[\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2} \right)^2 + 4\delta^2 \omega^2 \right]^{-1/2}, \omega > \omega_0$$

kdy

y_s = amplituda seismického buzení
 ω = frekvence seismického buzení
 ω_0 = vlastní frekvence dynamické soustavy
 δ = faktor útlumu ($\delta < 1$)

Z uvedeného vztahu je zřejmé, že amplituda vynuceného kmitání vertikálního čerpadla pro $\omega > \sqrt{2} \cdot \omega_0$ je už menší než amplituda seismického buzení. Další výhodou nízkého ladění je skutečnost, že amplituda vynuceného kmitání vertikálního čerpadla klesá s druhou mocninou budící frekvence, přičemž parametr tlumení má nepatrný význam. V tomto případě nejsou kladeny na parametry tlumičů tak přísné požadavky, jak je tomu v případě vysokého ladění. Vyšší účinek nového řešení je v tom, že vytváří pružný závěs s tlumícím účinkem, kde tuhosti pružných elementů spolu s hmotnostmi vertikálního čerpadla vytváří jeden, nebo více mechanických rezonančních soustav s rezonančními frekvencemi f_1, f_2 , které mají vlastnosti hornofrekvenčních filtrů, kdy amplitudy vynuceného kmitání čerpadla s frekvencemi $f > \sqrt{2} \cdot f_i$ jsou menší než amplitudy seismického kmitání a jsou nepřímo úměrné f^2 . Dále, převážná část energie seismického buzení se transformuje na potenciální energii deformovaných pružných elementů s následnou disipací v tlumících elementech v teplo, čímž se značně měrou sníží veškeré namáhání v soustrojí vertikálního čerpadla. Dochází k přeladění většiny vlastní frekvencí ohybového kmitání čerpadla do vyšších frekvenčních oblastí ve srovnání se stávajícím tuhým zakončením k podlaží budovy. Vibroizolační účinky pružného závěsu podle vynálezu se projevují jak ve vertikálním, tak i v horizontálním směru za současné eliminace účinků klopných budících momentů působících kolmo na podélnou osu čerpadla; přičemž parametry natáčivé tuhosti d a natáčivého útlumu b jsou přímo úměrné čtverci průměru roztečné kružnice, na které jsou umístěny pružné a tlumící elementy: $d = kD^2/2$, $b = cD^2/2$, kde „ k “ je posuvná tuhost pružného elementu a „ c “ je konstanta útlumu tlumícího elementu. Konečně z hlediska vlastní konstrukce, umožňuje řešení, bez velkých konstrukčních zásahů u stávajících typů vertikálních čerpadel, vyrábět seismicky odolná čerpadla pro atomové elektrárny, které vyhovují normám i bezpečnostním předpisům, platným pro jaderné elektrárny. Užitím nízkého ladění závěsů lze téměř vyloučit silové a momentové účinky působící na vertikální čerpadlo v důsledku seismického buzení.

Příklad konkrétního provedení vynálezu je schematicky znázorněn na připojeném výkrese, představujícím uložení agregátu ve dvou závěsech, kde v horním závěsu je znázorněno základní provedení pružného a tlumícího prvku, zatímco ve spodním závě-

su je znázorněno alternativní provedení těchto prvků.

Podle vynálezu sestává agregát vertikálního čerpadla z pohonného elektromotoru 1, uloženého na lucerně 2 a z vlastního čerpadla 3, přičemž rotor elektromotoru 1 a rotor vlastního čerpadla 3 jsou spojeny vloženým hřídelem 4, uloženým obvykle ve stoupacím potrubí 5, které je opatřeno odbočným kolenem 6. Tento agregát vertikálního čerpadla je zavěšen v podlaží 7 budovy elektrárny alespoň v jednom pružném závěsu. Ve znázorněném konkrétním provedení je agregát vertikálního čerpadla zavěšen ve dvou pružných závěsech 8, 9 a je tvořen dvěma na sobě nezávislými rezonančními soustavami I, II. Horní rezonanční soustava I tvořená elektromotorem 1 a lucernou 2 je zavěšena v podlaží 7 budovy prostřednictvím horního pružného závěsu 8 a spodní rezonanční soustava II tvořená vlastním čerpadlem 3 se sacím košem 10 a stoupacím potrubím 5 s odbočným kolenem 6 je zavěšena v mezistropu 11 prostřednictvím spodního pružného závěsu 9. Přitom pružný závěs 8, 9 s odpovídající rezonanční soustavou I, II představuje laděný mechanický rezonanční obvod. Pro účely ochrany agregátu vertikálního čerpadla je nutno, aby mechanický rezonanční obvod byl naladěn v nízkofrekvenčním rozsahu 1–10 Hz.

V základním provedení je pružný závěs 8, 9 tvořen nosnou deskou 12 spojenou pevně s tuhou konstrukční částí odpovídající rezonanční soustavě I, II; kupříkladu s elektromotorem 1, nebo lucernou 2 v případě horní rezonanční soustavy I, případně se stoupacím potrubím 5, nebo vlastním čerpadlem 3 v případě spodní rezonanční soustavy II. Dále je pružný závěs 8, 9 tvořen pružným prvkem 13, kupříkladu válcovou pružinou 14 spojenou na roztečné kružnici velkého průměru jednak s nosnou deskou 12 agregátu vertikálního čerpadla 3, a jednak s nepohyblivým podlažím 7 nebo mezistropem 11 budovy. Pružný prvek 13 je doplněn tlumícím prvkem 15, kupříkladu viskoelastickým blokem 16 vloženým do vnitřního prostoru válcové pružiny 14. V alternativním provedení znázorněném na spodním závěsu je pružný prvek 13 tvořen vlnovcem 17 velkého průměru a tlumící prvek 15 pístovým tlumičem 18. V případě, že pružný prvek 13 je tvořen válcovou pružinou 14, je řada těchto válcových pružin 14 rozmístěna pravidelně ve směru rovnoběžném s osou agregátu vertikálního čerpadla 3 a ve směru kolmém na tuto osu. V případě, že pružný prvek 13 je tvořen vlnovcem 17 zaručuje jeho velký průměr zachycení všech vlivů působících na rezonanční soustavu I, II v jakémkoliv směru.

V případě jednoho pružného závěsu 8 je stoupací potrubí 5 průběžné a je pevně spojeno jak s vlastním čerpadlem 3 tak i s lu-

cernou 2, takže agregát vertikálního čerpadla 3 vytváří jedinou rezonanční soustavu. Ve znázorněném příkladu, kdy je agregát vertikálního čerpadla 3 rozdělen do dvou kmitajících soustav I a II je vložený hřídel 4 spojen s rotorem elektromotoru 1 horní spojkou 19 a s rotorem vlastního čerpadla 3 prostřednictvím spodní spojky 20 přičemž stoupací potrubí 5 je zakončeno pod touto spodní spojkou 20. V případě, že zdrojem čerpané kapaliny je přetlaková nádrž, je mezi stoupacím potrubím 5 a mezistropem 11 uložena neznázorněná ucpávka.

Při výskytu zemětřesení se rozkmitá budova elektrárny, k jejímž podlažím 7, 11 je přes pružné závěsy 8, 9 uchycen agregát vertikálního čerpadla. Seismické kmity se přenášejí z budovy přes pružné závěsy 8, 9 na agregát vertikálního čerpadla 3 ve značně omezeném rozsahu, protože pružné závěsy 8, 9 působí jako vysokofrekvenční filtry. Tak v nejběžnějším případě se dvěma závěsy, jak je znázorněno na příkladném provedení, je pružný prvek 13 horního pružného závěsu 8 naladěn na frekvenci f_1 mechanické rezonanční soustavy I, a pružný prvek 13 spodního pružného závěsu 9 je naladěn na frekvenci f_2 mechanické rezonanční

ní soustavy II, přičemž obě frekvence f_1 a f_2 se mohou navzájem rovnat. Nejvyššího tlumicího účinku se dosahuje, jestliže obě frekvence f_1 a f_2 leží ve spodní oblasti frekvenčního pásma seismického buzení, tedy v pásmu 1–10 Hz.

Seismické buzení způsobí vynucené kmitání obou mechanických rezonančních soustav I a II, přičemž tato kmitání nejsou na sobě závislá. Z toho vyplývá, že konstrukční řešení spojení rotoru elektromotoru 1 s rotorem vlastního čerpadla 3 musí umožnit vzájemný posuv o velikosti dvojnásobku amplitudy kmitání jednoho z pružných závěsů 8, 9. Toto je konstrukčně zajištěno použitím vloženého hřídele 4 přes spojky 19 a 20. Při kmitání mechanické rezonanční soustavy I je elektromotor 1 veden pružným kruhem 21, který působí rovněž i jako tlumič. Naklápění mechanických rezonančních soustav I, II ve všech směrech brání pružné prvky 13 ve spolupráci s tlumicími prvky 15.

Pro účely ladění pružného prvku v nízké frekvenční oblasti, tj. v pásmu 1–10 Hz musí se do výtláčného potrubí za odbočným kolenem 6 zařadit neznázorněný kompenzátor s malou tuhostí.

PŘEDMĚT VYNÁLEZU

1. Agregát vertikálního čerpadla, zejména pro jaderné elektrárny v seismicky ohrožených oblastech, sestávající z pohonného elektromotoru a vlastního čerpadla spojených navzájem hřídelí, kde pohonný elektromotor spolu s lucernou tvoří první rezonanční soustavu a čerpadlo se stoupacím potrubím tvoří druhou rezonanční soustavu, přičemž každá z rezonančních soustav je uložena v nosné části budovy elektrárny, vyznačující se tím, že alespoň jedna z rezonančních soustav (I, II) je opatřena v místě svého uložení v nosné části budovy

pružným závěsem (8, 9), sestávajícím ze soustavy pružných prvků (13) a tlumicích prvků (15), přičemž pružné prvky (13) a tlumicí prvky (15) jsou spojeny jednak s nosnou částí budovy a jednak s příslušnou rezonanční soustavou (I, II).

2. Agregát vertikálního čerpadla podle bodu 1, vyznačující se tím, že pružné prvky (13) a tlumicí prvky (15) jsou rozmístěny v pravidelných rozestupech a to střídavě rovnoběžně s podélnou osou agregátu vertikálního čerpadla a kolmo na tuto osu.

