



ÚŘAD PRO VYNÁLEZY
A OBJEVY

POPIS VYNÁLEZU

K AUTORSKÉMU OSVĚDČENÍ

215 934

(11) (B1)

(61)

(23) Výstavní priorita
(22) Přihlášeno 20 08 80
(21) PV 5704-80

(51) Int. Cl.³ G 21 D 1/02

(40) Zveřejněno 30 04 81
(45) Vydáno 01 10 84

(75)
Autor vynálezu

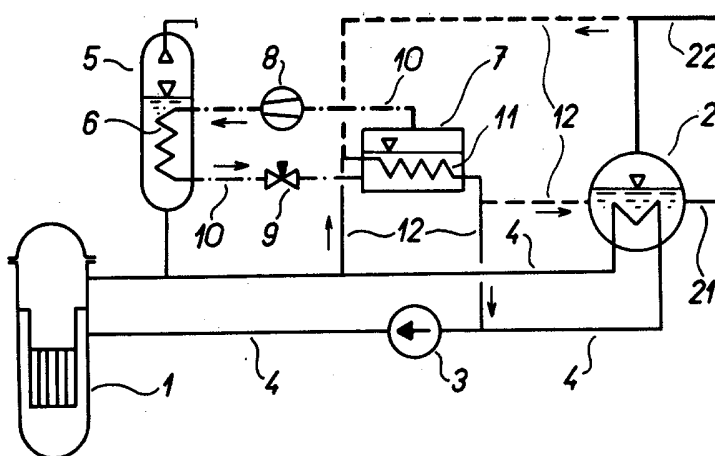
SÝKORA DALIBOR ing., PRAHA

(54) Zařízení pro zvyšování a udržování tlaku teplotnosného média v primárním okruhu jaderné elektrárny s tlakovodním reaktorem

Zařízení pro zvyšování a udržování tlaku teplotnosného média v primárním okruhu jaderné elektrárny s tlakovodním reaktorem řeší problémy snižování vlastní spotřeby a zvyšování provozní pružnosti u těchto elektráren. Aplikuje atraktivní tepelně čerpadlovou techniku v rozvojovém programu jaderné energetiky. Jaderné elektrárny s tlakovodními reaktory, vzhledem k blízkým úrovním teplot udržovaným za provozu v primárních a sekundárních okruzích, jakož i v parních kompenzátorech objemu, umožňují dosáhnout vysoké porovnávací účinnosti v přiřazených tepelně čerpadlových okruzích. Zařízení uvažuje samostatný uzavřený klasický termokompresorový okruh, jehož realizaci velmi přibližuje úspěšný a stále pokračující intenzivní vývoj vysokoteplotních chladiv, jimiž jsou tzv. elektronové kapaliny. Podstatou těchto nejnovějších chladiv jsou vysokofluorizované chloridy. Podvariantní řešení a zapojení předmětného zařízení vedou k návrhu na změnu geometrie parního kompenzá-

toru objemu, což je obecně výhodné zejména z hlediska značných materiálových úspor.

215 934



Vynález se týká zařízení pro zvyšování a udržování tlaku teplotnosného média v primárním okruhu jaderné elektrárny s tlakovodním, respektive vodovodním reaktorem během jejího spouštění a při energetickém provozu této elektrárny.

Dosavadní systémy zařízení zabezpečující nezbytný vysoký tlak teplotnosného média v primárních okruzích jaderných elektráren s tlakovodními reaktory jsou reprezentovány kompenzátorem objemu, ve kterém je nad hladinou teplotnosného média vytvořen a udržován vysokotlaký plynový-dusíkový, nebo parní polštář. Dnes se používají už výhradně kompenzátory objemu s parním polštářem, jehož vznik a existence jsou zajištěny instalací a řízeným provozem vestavěných elektrických odporových ohříváků. Pro přívod energie k vytvoření a udržování vysokotlaké parní fáze teplotnosného média v nejvyšším místě primárního okruhu, tj. uvnitř parního kompenzátoru objemu, je kompenzátor ve své spodní části opatřen velkým počtem hrdel, ve kterých jsou odporové elektroohříváky uloženy. Celkový instalovaný výkon elektrického ohřívacího systému bývá většinou v rozmezí 1000 až 4500 kW. Podle velikosti výkonu jednoho elektroohříváku vychází pak jejich počet a tím i počet pro ně vytvořených hrdel v rozmezí od několika desítek až do zhruba dvou set kusů. Realizace těchto hrdel patří k nejnáročnějším technologickým operacím při výrobě parního kompenzátoru objemu. Z pevnostních důvodů je prstenec pláště parního kompenzátoru objemu, ve kterém jsou ohříváková hrdla umístěna, zesílen což je rovněž nevýhodné. Další nevýhodou je nutnost vestavění souosého nosného válcového pláště pro podepření vnitřních volných konců elektroohříváků, jejichž životnost je i při těchto konstrukčních opatřeních poměrně nízká. Tato skutečnost vyvolává na jedné straně potřebu konstrukčního a provozního zajištění výměn poškozených elektroohříváků v mezikampaňových provozních odstávkách a na druhé straně i instalaci záložních elektroohříváků na parním kompenzátoru objemu. Energetickou nevýhodou tohoto odporového elektroohřevu je skutečnost, že jeho plný příkon je kryt finální vysokopotenciální formou energie, tj. energií elektrickou, která je právě v těchto elektrárnách vyráběna s nižší účinností v termodynamickém cyklu sekundárního okruhu než je účinnost dosahovaná v klasických tepelných elektrárnách.

Výše uvedené nevýhody jsou odstraněny nebo podstatně zmenšeny při realizaci a provozu zařízení pro zvyšování a udržování tlaku teplotnosného média v primárním okruhu jaderné elektrárny s tlakovodním reaktorem podle tohoto vynálezu, který spočívá v tom, že zařízení sestává z uzavřeného samostatného tepelně čerpadlového okruhu, tj. z parního kompenzátoru objemu s vestavěným kondenzátorem vysokoteplotního chladiwa, z výparníku vysokoteplotního chladiwa s vestavěným tepelným výměníkem napojeným pomocným potrubím na zdroj nížepotenciálního tepla, z kompresoru, z redukčního ventilu a ze spojovacího potrubí, jehož prostřednictvím jsou propojeny výstup výparníku vysokoteplotního chladiwa se sáním kompresoru, výtlak kompresoru se vstupem kondenzátoru vysokoteplotního chladiwa, výstup kondenzátoru vysokoteplotního chladiwa se vstupem redukčního ventilu a výstup redukčního ventilu se vstupem výparníku vysokoteplotního chladiwa, přičemž zdrojem nížepotenciálního tepla je přímo primární okruh respektive reaktor.

Technický pokrok v tomto oboru jaderné energetiky lze charakterizovat těmito hlavními výhodami, které poskytuje předmětné chráněné zařízení. Energeticky je tepelně čerpad-

lový ohřev a var vody v parních kompenzátorech objemu atraktivní vzhledem k dobrým relacím mezi spodními a horními i nejvyššími teplotami teplotnosného média existujícími za provozu v příslušných místech primárních okruhů dnešních jaderných elektráren s tlakovodními reaktory. Proto je reálné dosáhnout podstatné zmenšení elektrického příkonu i značné snížení spotřeby elektrické energie pro zajištění funkce parních kompenzátorů objemu. Za druhé, odpadá entropická ztráta při sdílení tepla za vysokého rozdílu teplot, která existuje při dosavadním elektrickém ohřevu a varu vody v parních kompenzátorech objemu. Za třetí, u uzavřeného samostatného tepelně čerpadlového okruhu je možné i účelné odebírat nížepotenciální teplo až ze sekundárního okruhu. Přitom lze s výjimkou kondenzátoru vysokoteplotního chladiwa umístit celý okruh do prostoru přístupného za provozu. Za čtvrté, podstatně se zjednoduší konstrukce a tím i výroba vysokotlaké nádoby parního kompenzátoru objemu, neboť odpadne převážná většina z celkového počtu hrdel na této nádobě umístěných. Za páté, při využití současně navrhované změny geometrického tvaru vysokotlaké nádoby parního kompenzátoru objemu, tj. při přechodu z válcového tvaru na tvar kulový, se podstatně změní hmotnost parního kompenzátoru objemu, čímž dojde ke značné úspoře vysoce kvalitního konstrukčního materiálu. K výše uvedeným výhodám nutno připojit i zmínku o orčité průvodní nevýhodě chráněného zařízení, kterou je odpovídající snížení pasivnosti funkce u těchto systémů zařízení a to vlivem použití aktivních členů, jimiž jsou kompresor a redukční ventil, případně i pomocné čerpadlo. Tato zařízení jsou určující z hlediska spolehlivosti celku a proto sama musí být vysoce spolehlivá a/nebo náležitě zálohovaná.

Na výkresu je uvedeno principiální schéma chráněného zařízení, představující uzavřený tepelně čerpadlový okruh i jeho vazbu na hlavní komponenty či okruhy jaderné elektrárny. Na obr. je zjednodušeně schematicky nakresleno zařízení pro zvyšování a udržování tlaku teplotnosného média v primárním okruhu jaderné elektrárny spolu s vazbami na primární respektive sekundární okruh elektrárny. Je znázorněna jedna z několika smyček primárního okruhu, který sestává z reaktoru 1 z parogenerátorů 2, z cirkulačních čerpadel 3 a z primárního potrubí 4, které okruhově propojuje v uvedeném pořadí tyto komponenty primárního okruhu, k jehož horké větvi je vždy připojen i parní kompenzátor 5 objemu. Dále je znázorněno nové zařízení, jímž jsou: kondenzátor 6 vysokoteplotního chladiwa, který je ve-
staven ve vodním prostoru parního kompenzátoru 5 objemu, výparník 7 vysokoteplotního chladiwa s vnitřním tepelným výměníkem 11 napojeným prostřednictvím pomocného potrubí 12 na primární, případně sekundární okruh jaderné elektrárny, kompresor 8 a redukční ventil 9 a také spojovací potrubí 10, které spojuje uvedená nová zařízení do samostatného uzavřeného tepelného okruhu. Pro větší názornost je k parogenerátoru 2 přikresleno i stávající napájecí potrubí 21 a parovod 22. Funkce primárního okruhu je všeobecně známa z odborné literatury, takže je zbytečné ji uvádět. Stačí jen poznamenat, že z provozních důvodů je nezbytné vytvořit a udržovat v nejvyšším místě primárního okruhu, jímž je vnitřní prostor parního kompenzátoru 5 objemu vysokotlaký stav sytosti s dostatečně velkým parním polštářem. Dodávání potřebného výšepotenciálního tepla do kapalné fáze teplotnosného média v parním kompenzátoru 5 objemu zajišťuje právě předmětné chráněné zařízení, jehož funkce je následující. Pomocným potrubím 12 a tepelným výměníkem 11 protéká velmi malá část teplotnos-

ného média obíhajícího v primárním okruhu, čímž se přenáší teplo o potenciálu odpovídajícímu teplotě na výstupu z reaktoru 1 do výparníku 7 vysokoteplotního chladiwa. V tomto aparátu se dodaným teplem odpařuje vysokoteplotní chladiwo, jehož pára se vede spojovacím potrubím 10 na sání kompresoru 8 a po příslušném stlačení dále do kondenzátoru 6 vysokoteplotního chladiwa, v němž pára vysokoteplotního chladiwa kondenzuje, přičemž odevzdává své zejména skupenské teplo horké respektive vroucí vodě v parním kompenzátoru 5 objemu. Kapalná fáze či kondenzát vysokoteplotního chladiwa teče dále spojovacím potrubím 10 k redukčnímu ventilu 2, ve kterém dochází k jeho škrcení na tlak odpařovací, který existuje ve výparníku 7 vysokoteplotního chladiwa. Okruh s vyznačeným směrem proudění vysokoteplotního chladiwa je znázorněn čerchovaně. Popsaný proces přenosu tepla za současného zvyšování jeho potenciálu umožňuje vytvoření a udržování "horkého místa" v primárním okruhu, tj. vytvoření a udržování parního polštáře v parním kondenzátoru 5 objemu a to s využíváním významného podílu primární tepelné formy energie. Je zřejmé, že nížepotenciální teplo dodávané do výparníku 7 vysokoteplotního chladiwa může být odebíráno i ze sekundárního okruhu, což je znázorněno čárkováně. Využívá se pak kondenzačního tepla páry vyrobené v parogenerátoru 2. Je evidentní, že s příslušným poklesem potenciálu nížepotenciálního tepla, daného rozdílem teplot při přestupu tepla v parogenerátoru 2, se poněkud snižuje i efektivnost tepelně čerpadlového okruhu. Výhodou je ale neaktivní teplonosné médium, jímž je kondenzující sytá vodní pára, takže všechna zařízení uzavřeného tepelně čerpadlového okruhu včetně výparníku 7 vysokoteplotního chladiwa jsou přístupná za provozu. Výjimkou je jedině kondenzátor 6 vysokoteplotního chladiwa, který je instalován uvnitř parního kompenzátoru 5 objemu. Při spouštění jaderného zdroje páry ze studeného stavu bude výparník 7 vysokoteplotního chladiwa zásobován teplem z druhého pracujícího bloku nebo z vnějšího najížděcího energetického zdroje. Redukovat odpovídající méně příznivé tepelně napjatostní poměry jde cestou minimalizace síly stěny u parního kompenzátoru 5 objemu a to především změnou jeho stávající geometrie, tj. přechodem z válcového na kulový tvar jeho tlakové nádoby.

Pro konkrétní příklady aplikace vynálezu byly použity parametry čs. jaderné elektrárny se dvěma vodovodními reaktory o tepelném výkonu 2×1375 MW, kde tlak a teploty vody obíhající v primárním okruhu jsou přibližně 12,5 MPa a 297/268 °C, přičemž v parním kompenzátoru objemu je stav sytosti, tj. teplota syté páry a vroucí vody je 325 °C. S ohledem na nezbytné teplotní rozdíly na teplosměnných plochách byly uvažovány kondenzační a výparná teplota vysokoteplotního chladiwa 330 °C a 285 °C. Pro tyto teploty vychází topný faktor podle Carnota 13,4. Při napojení tepelného výměníku ve výparníku vysokoteplotního chladiwa na sytou páru z parogenerátoru, jejíž teplota činí 257,6 °C, je uvažována výparná teplota vysokoteplotního chladiwa 252 °C, čímž Carnotův topný faktor poklesne na hodnotu 7,73. Stanovení efektivnosti uzavřeného tepelně čerpadlového okruhu vycházející z ideálního Rankinova cyklu, které je více realistické, neboť respektuje i teplofyzikální vlastnosti chladiwa, nelze zatím provést pro dočasnou nedostupnost potřebných informací o dosud vyvíjených vysokoteplotních chladivech. Pokud jde o přechod z válcového tvaru na kulový tvar u parního kompenzátoru objemu, jehož vlastní celkový objem je 44 m³, vnitřní

průměr válcové části je 2880 mm a základní síla stěny válcové části je 160 mm, ukazuje se, po triviálním přepočtu, možnost snížení hmotnosti vlivem změny geometrie kompenzátoru zhruba o 40 %, což je přitažlivé vzhledem k vysoké kvalitě a tím i ceně příslušné oceli. U kulového parního kompenzátoru objemu o stejném vlastním celkovém objemu 44 m^3 vychází vnitřní průměr 4380 mm a základní síla stěny 121,5 mm a tím vnější průměr 4623 mm. Z hlediska transportu a montáže lze tento rozměr ještě akceptovat, neboť je menší než maximální průměr příslušné reaktorové nádoby, který je 4710 mm. Výrobní technologii kulového parního kompenzátoru objemu lze odvodit z již osvojené výroby den a vík pro reaktorové nádoby. Je zřejmé, že navržená změna tvaru pro nové parní kompenzátory objemu je atraktivní i při ponechání dosavadního elektrického systému ohřevu a varu vody v těchto zařízeních, neboť vedle značné úspory materiálu budou kulové parní kompenzátory objemu vykazovat též lepší hydraulické a separační vlastnosti i menší ztráty tepla do okolí vlivem minimalizovaného vnějšího povrchu.

Závěrem lze konstatovat, že předmětný vynález se jeví cenným inovačním krokem ve vývojovém procesu u významného typu jaderných elektráren, které se stále více uplatňují v energetických programech mnoha zemí. Lze proto předpokládat, že po rozpracování, vývoji a provozním ověření nejdůležitějších komponent chráněného zařízení dojde zejména na bázi tvůrčí vědeckotechnické mezinárodní spolupráce k jeho relativně rychlému využití. Je zřejmé, že v relaci k neustále rostoucí úrovni výrobní technologie je možné a účelné realizovat jednotlivé body předmětu vynálezu etapově.

P R Ě D M Ě T V Y N Á L E Z U

1. Zařízení pro zvyšování a udržování tlaku teplotnosného média v primárním okruhu jaderné elektrárny s tlakovodním reaktorem, vyznačené tím, že sestává buď z uzavřeného samostatného tepelně čerpadlového okruhu, tj. z parního kompenzátoru (5) objemu s vestavěným kondenzátorem (6) vysokoteplotního chladiwa, z výparníku (7) vysokoteplotního chladiwa s vestavěným tepelným výměníkem (11) napojeným pomocným potrubím (12) na zdroj nížepotenciálního tepla, z kompresoru (8), z redukčního ventilu (9) a ze spojovacího potrubí (10), jehož prostřednictvím jsou propojeny výstup výparníku (7) vysokoteplotního chladiwa se sáním kompresoru (8), výtlak kompresoru (8) se vstupem kondenzátoru (6) vysokoteplotního chladiwa, výstup kondenzátoru (6) vysokoteplotního chladiwa se vstupem redukčního ventilu (9) a výstup redukčního ventilu (9) se vstupem výparníku (7) vysokoteplotního chladiwa, ^(vřičemž) zdrojem nížepotenciálního tepla je přímo primární okruh respektive reaktor (1).

2. Zařízení podle bodu 1, vyznačené tím, že uvnitř ve spodní polovině respektive ve vodním prostoru parního kompenzátoru objemu (5) je instalován kondenzátor (6) vysokoteplotního chladiwa, který je napojen na vnější uzavřený tepelně čerpadlový okruh.

3. Zařízení podle bodu 1, vyznačené tím, že parní kompenzátor objemu (5) je proveden ve středově symetrické sférické geometrii, tj. ve tvaru koule.

