

Zařízení pro využití odpadního tepla na principu ORC kompresoru

Oblast techniky

5

Tento vynález se týká zařízení pro využití odpadního tepla na principu ORC kompresoru, které je určeno pro výrobu stlačeného plynu, zejména vzduchu nebo vzdušiny. Zároveň toto zařízení pracuje a využívá různé druhy transportních tepelných médií a chladiv.

10

Dosavadní stav techniky

V současné době je využití stlačeného vzduchu a jeho použití v průmyslových aplikacích a provozech značně rozšířené a setkáváme se s ním prakticky na každém kroku. Technologie stlačování vzduchu je dobře známá a jednotlivé principy jsou kvalitně popsány. Problém nastává v okamžiku dalšího zvyšování účinnosti komprese a případné využití odpadního tepla z komprese samotné. Pro využití odpadního tepla různých systémů se používá organický Rankin-Clausiiův cyklus (ORC).

Pro příklad provedených aplikací, které pracují s využitím ORC cyklu za účelem produkce elektrické energie, lze uvést korejskou patentovou přihlášku KR 20160126167 A, která popisuje systém s využitím ORC pro generování energie. Systém je určen pro přímý provoz kompresoru chladicího a klimatizačního systému využívajícího odpadní teplo venkovní jednotky z chladicího a klimatizačního systému a sluneční energie a konkrétněji se týká organického Rankinova cyklu.

25

Evropský patent EP 2634383 B1 popisuje způsob a zařízení pro skladování energie. Způsob skladování energie zahrnuje krok ukládání energie, ve kterém je nasáván vzduch na vstupu jednoho nebo více kompresorů, jeho tlak je zvýšen na hodnotu vyšší než okolní tlak, vzduch je zkapalněn izoentaltickou expanzí a je přiváděn do tepelně izolované akumulární nádrže. Tam se páry studeného vzduchu, vytvořené během procesu zkapalňování vzduchu, přivádějí zpátky ke vstupu kompresoru přes alespoň jeden protiproudý výměník tepla, který umožňuje výměnu tepla stlačeného vzduchu se studenou párou za alespoň jedním stupněm kompresoru, přičemž stlačený vzduch je rozdělen na dva dílčí proudy. Druhý proud je veden skrz expanzní turbínu, kde se získaná energie přivádí do kompresoru. Způsob dále zahrnuje krok odebírání energie, ve kterém je kapalný vzduch odebrán ze zásobní nádrže a znovu zplyňován, přičemž tlak vzduchu se zvyšuje pomocí čerpadla a/nebo pomocí tepelného stlačení, a poté se zvyšuje teplota vzduchu alespoň na teplotu okolí. Stlačený vzduch vyráběný tímto způsobem, který pohání hlavní turbínu, se dodatečně používá ke kondenzování chladicího média, přičemž energie vyrobená v procesu ORC cyklu je spojena s energií vyrobenou v hlavní turbíně.

40

Z mezinárodní patentové přihlášky WO 2019211775 A1 je známé zařízení pro využití odpadního tepla a výrobu mechanické a/nebo elektrické energie, na principu organického Rankin-Clausiova cyklu. Toto zařízení zahrnuje primární zdroj odpadního tepla ve formě primárního spalovacího motoru. Dle obr. 1 a 4A tohoto řešení je primární zdroj odpadního tepla napojen na okruh transportního média pomocí výměníku tepla, na který je dále připojen přes výměník tepla chladicí okruh s chladivem. Chladicí okruh je dále připojen do expandéru uspořádaného na společné hřídeli s generátorem a z expandéru dále do kondenzátoru, který je napojen přes čerpadlo zpět na výměník tepla. Samotný okruh transportního média je vytvořen jako uzavřený okruh pro výrobu mechanické a/nebo elektrické energie a dále je z výměníku připojen na sekundární expandér uspořádaný na společné hřídeli s trojicí sekundárních kompresorů a sekundárním generátorem, a z expandéru dále přes rekuperační výměník do soustavy prvního, druhého a třetího chladicího zařízení a prvního, druhého a třetího sekundárního kompresoru, a přes rekuperační výměník, výměník tepla a sekundární expandér zpět na výměník tepla. Sekundární kompresor rovněž zahrnuje vstup plynu nebo vzdušiny a výstup stlačeného plynu nebo vzdušiny, ačkoliv se jedná o uzavřený okruh. Primárním zdrojem odpadního tepla je soustava primárního kompresoru, spalovací komory a

55

primárního expandéru, a zahrnuje vstup plynu nebo vzdušiny. Okruhem transportního média je plyné médium (argon, vzduch, dusík, oxid uhličitý a jejich kombinace) cirkulující v uzavřeném okruhu. Výstup z primárního kompresoru je napojen na spalovací komoru, primární expandér, výfukový kanál pro spaliny, který je dále připojen na výměník tepla, následně přes výměník tepla na chladicí okruh s chladivem, a pak k výstupu spalin.

Technický problém, který tento dokument řeší, je poskytnutí zařízení pro výrobu mechanické a/nebo elektrické energie s rekuperací odpadového tepla ze spalovacího motoru, zejména z plynové turbíny, za účelem zvýšení účinnosti konverze a zvýšení výtěžku při parciální zátěži, obecně tedy za účelem zvýšení účinnosti pohonné jednotky za pomoci dodatečné točivé síly.

Z americké patentové přihlášky US 2017058760 A1 je známé zařízení pro využití odpadního tepla a výrobu stlačeného plynu, zejména vzduchu nebo vzdušiny, na principu modifikovaného Carnotova parního cyklu. Dle obr. 1 tohoto řešení zařízení zahrnuje primární zdroj odpadního tepla, který je napojen přes výměník tepla přímo na chladicí okruh s chladivem. Chladicí okruh je dále připojen do expandéru (parní turbíny) uspořádaného na společné hřídeli se sekundárním kompresorem, a z expandéru dále do kondenzátoru (tepelný výměník), který je napojen přes čerpadlo (parní kompresor) zpět na výměník tepla. Sekundární kompresor zahrnuje vstup plynu nebo vzdušiny a výstup stlačeného plynu nebo vzdušiny. Primárním zdrojem odpadního tepla je spalovací motor zahrnující vstup plynu nebo vzdušiny, přičemž spaliny motoru jsou vedeny do prvního expandéru (výfuková turbína) uspořádaného na společné hřídeli s primárním kompresorem. Spalinový okruh je dále přes výměník tepla napojen na chladicí okruh s chladivem, a pak ven do atmosféry. Primární kompresor zahrnuje výstup stlačeného plynu nebo vzdušiny. Výstup stlačeného plynu nebo vzdušiny ze sekundárního kompresoru je napojen na výstup stlačeného plynu nebo vzdušiny z primárního kompresoru, a spolu jsou vedeny zpět do spalovacího motoru jako přívod stlačeného vzduchu.

Technický problém, který tento dokument řeší, je poskytnutí systému s rekuperací tepelné energie, který zachytí část odpadního tepla ze spalovacího motoru za účelem zvýšení jeho celkové účinnosti a který vyrábí stlačený vzduch pro dodatečné přepřehování a dodávku do interního cyklu spalování spalovacího motoru.

Ze stavu techniky vyplývá, že všechny moderní i staré kompresory, které jsou v současné době celosvětově využívány v nejrůznějších aplikacích, se svou koncepcí, materiálem a konstrukcí blíží limitní hranici pro další případné zvyšování jejich celkové účinnosti. Tato omezení jsou daná především fyzikálními zákony. Dále lze také konstatovat, že ve stavu techniky doposud nebyla řešena možnost zapojení dalšího sekundárního kompresoru do organického Rankinova cyklu využívajícího odpadní nebo nízkopotenciální zdroj tepla, například odpadního tepla z primárního kompresoru, u kterého již lze jen obtížně zvýšit účinnost.

Podstata vynálezu

Cílem předkládaného vynálezu je využít odpadní teplo z výroby stlačeného vzduchu nebo vzdušiny nebo i z jiných zdrojů tepla, které může pocházet z různých provozů, průmyslové výroby, obnovitelných zdrojů energie, nebo obecně z odpadního tepla, které by nemělo dalšího využití. Odpadní teplo je využito pomocí organického Rankin-Clausiova cyklu (ORC cyklu) za účelem zvýšení produkce stlačeného vzduchu nebo využití odpadního tepla, a tím i účinnosti těchto zařízení za pomoci zapojení dalšího – sekundárního – kompresoru do ORC cyklu využívajícího odpadní nebo nízkopotenciální zdroj tepla, například odpadního tepla kompresoru. Takový sekundární kompresor dokáže díky svému zapojení z tepla, jinak nevyužitelného, vyprodukovat další stlačenou vzdušinu, kterou lze např. přidat ke stlačené vzdušine produkované primárním kompresorem, čímž se zvýší celková účinnost a navýší se celková primární produkce vzdušiny, přičemž se využijí různá chladiva, nebo směsi chladiv, či dalších teplotnosných médií.

Výše uvedeného cíle je dosaženo pomocí zařízení pro využití odpadního tepla a výrobu stlačeného plynu, zejména vzduchu nebo vzdušiny, na principu organického Rankin-Clausiova cyklu, přičemž toto zařízení zahrnuje primární zdroj odpadního tepla. V tomto zařízení je primární zdroj odpadního tepla napojen na okruh transportního média, na který je dále připojen přes výměník
 5 tepla chladicí okruh s chladivem. Ve výměníku tepla dochází pouze k přenosu tepla mezi okruhem transportního média a chladicím okruhem, nikoliv k mísení jednotlivých médií. Chladicí okruh je dále připojen do expandéru uspořádaného na společné hřídeli nebo přes převod se sekundárním kompresorem a z expandéru dále do kondenzátoru, který je napojen přes čerpadlo zpět na výměník tepla s transportním médiem, obvykle s olejovým okruhem. Sekundární kompresor přitom
 10 zahrnuje samostatný druhý vstup plynu nebo vzdušiny (před stlačením) a druhý výstup stlačeného plynu nebo vzdušiny, a jak je uvedeno výše, je poháněn expandérem se společnou hřídelí.

V tomto zařízení je primárním zdrojem odpadního tepla primární kompresor zahrnující první vstup plynu nebo vzdušiny (před stlačením), zatímco okruhem transportního média je obvykle olejový
 15 okruh. Výstup vzdušiny z primárního kompresoru je v tomto provedení společný s olejovým okruhem, který je dále připojen na olejový separátor, následně přes výměník tepla na chladicí okruh s chladivem, a pak zpět do primárního kompresoru, přičemž olejový separátor zahrnuje samostatný první výstup stlačeného plynu nebo vzdušiny z primárního kompresoru. Z primárního kompresoru tedy do olejového separátoru proudí směs stlačeného plynu nebo vzdušiny a olejového média
 20 v podobě kapiček nebo mlhy, načež se v olejovém separátoru tyto fáze oddělí na první výstup stlačeného plynu nebo vzdušiny a horký olej proudící dále do výměníku tepla s chladicím okruhem, kde nastává přenos tepla z oleje na chladivo. Chladicí okruh je v tomto provedení totožný s chladicím okruhem popsaným výše.

25 S výhodou je druhý výstup stlačeného plynu nebo vzdušiny ze sekundárního kompresoru napojen na první výstup stlačeného plynu nebo vzdušiny z olejového separátoru. Dojde tak k efektivnímu využití odpadního tepla z primárního kompresoru pro výrobu dodatečného stlačeného plynu nebo vzdušiny sekundárním kompresorem.

30 Pro lepší přenos tepla je s výhodou v chladicím okruhu mezi expandérem a kondenzátorem, a zároveň mezi čerpadlem a výměníkem tepla uspořádán rekuperační výměník.

Podstata zařízení pro využití odpadního tepla z produkce stlačeného plynu nebo vzdušiny i jiných zdrojů odpadního tepla na nejrůznějších provozech a v průmyslové výrobě je následující. Jedná se
 35 o specifické zapojení systému výměníků pro transport odpadního tepla z klasického kompresoru, výroby stlačeného plynu nebo vzdušiny či obecného primárního zdroje odpadního tepla do oběhu organického Rankin-Clausiova cyklu. Odpadní teplo je předáváno prostřednictvím okruhu transportního média, kde médiem je obvykle olej, příp. voda a chladicího okruhu, kde médiem je chladivo obíhající v chladicím okruhu samotném. Tato energie je pomocí chladiva předána v
 40 expandéru, který pomocí společné hřídele roztáčí sekundární kompresor ORC cyklu, jehož výslednou produkcí je stlačený plyn nebo vzdušina, která je dále přiváděna do výstupního rozvodu průmyslové výroby stlačeného plynu nebo vzdušiny. Tím je ekonomicky zhodnoceno jinak skoro nevyužitelné odpadní teplo. Celý cyklus a zařízení lze ještě vylepšit např. využitím rekuperačního výměníku pro samotný chladicí okruh, případně pokud je ještě k dispozici nějaký další odpadní
 45 zdroj tepla z okolí, lze i tento využít za účelem ještě lepších provozních parametrů.

Výhodou je možnost instalace daného zařízení jak do nových, tak i stávajících provozů. Takovou instalaci lze efektivně využít odpadní a nízkopotenciální teplo, které se jinak běžně nevyužívá a je
 50 odváděno do okolního prostředí, případně teplo z obnovitelných zdrojů energie, které se např. v letních měsících potýká s nadprodukcí tepelné energie. Pokud by se jednalo o instalaci zařízení tam, kde ještě výroba stlačeného plynu nebo vzdušiny dokončena nebyla, je možnost zahrnout toto zařízení do celkové koncepce a ušetřit vstupní náklady již při pořízení kompresorové jednotky k produkci stlačeného plynu nebo vzdušiny. Jako alternativní primární zdroj odpadního tepla může být: odpadní plyn nebo vzdušina, geotermální energie transportovaná různými médii, vzduch,
 55 procesní plyny, spaliny, produkce fotovoltaických panelů, produkce solárních panelů, odpadní

teplo z komfortních jednotek a zařízení pro úpravu parametrů prostředí budov a provozů, teplo z chlazení provozů a procesů z výroben a další.

5 Zjednodušeně lze říci, že podstata vynálezu spočívá v tom, že namísto použití generátoru pro výrobu elektrické energie je využito sekundárního kompresoru pro výrobu stlačeného plynu nebo vzdušiny. Pod pojmem „vzdušina“ se zde rozumí společný název pro plyny a páry.

10 Výhodou je, že sekundární kompresor dokáže z tepla jinak nevyužitelného vyprodukovat další stlačenou vzdušinu, kterou lze použít a přidat (přičíst) ke stlačené vzdušině produkované primárním kompresorem. Pokud tedy využijeme řešení s primárním kompresorem popisované výše a zapojíme do ORC cyklu sekundární kompresor, zvýšíme celkovou účinnost a navýšíme celkovou primární produkci vzdušiny, a to vše za relativně výhodných podmínek z ekonomického pohledu.

15

Objasnění výkresů

Podstata vynálezu je dále objasněna na příkladech jeho uskutečnění, které jsou popsány s využitím 20 připojených výkresů, kde:

20

obr. 1 znázorňuje obecné schéma zařízení pro využití odpadního tepla z primárního zdroje tepla, a to na principu ORC cyklu zahrnujícího sekundární kompresor pro výrobu stlačeného plynu nebo vzdušiny,

25

obr. 2 znázorňuje schéma zařízení pro využití odpadního tepla z primárního kompresoru, a to na principu ORC cyklu zahrnujícího sekundární kompresor pro výrobu stlačeného plynu nebo vzdušiny, a

30

obr. 3 znázorňuje schéma zařízení pro využití odpadního tepla z primárního kompresoru, a to na principu ORC cyklu zahrnujícího sekundární kompresor pro výrobu stlačeného plynu nebo vzdušiny a rekuperační výměník v chladicím okruhu.

35

Příklady uskutečnění vynálezu

Uvedená uskutečnění znázorňují příkladné varianty provedení vynálezu, která však nemají z hlediska rozsahu ochrany žádný omezující vliv.

40

Na obr. 1 je znázorněno obecné zařízení pro využití odpadního tepla a výrobu stlačeného plynu, zejména vzduchu nebo vzdušiny, na principu organického Rankin-Clausiova cyklu. Toto zařízení zahrnuje primární zdroj 1 odpadního tepla napojený na okruh 2 transportního média, na který je dále připojen přes výměník 3 tepla chladicí okruh 4 s chladivem. Transportním médiem může v tomto případě být olej nebo voda. Chladicí okruh 4 je dále připojen do expandéru 5 (turbíny) uspořádaného na společné hřídeli 6 se sekundárním kompresorem 7 a z expandéru 5 dále do kondenzátoru 10, který je napojen přes čerpadlo 12 zpět na výměník 3 tepla. Sekundární kompresor 7 zahrnuje druhý vstup 8 plynu nebo vzdušiny a druhý výstup 9 stlačeného plynu nebo vzdušiny. V kondenzátoru 10 nastává přenos tepla mezi chladicím okruhem 4 a sekundárním chladicím okruhem 11 s chladivem v podobě vody nebo okolního vzduchu.

50

Na obr. 2 je znázorněno provedení zařízení podle tohoto vynálezu, kde v primárním kompresoru 13 nebo kompresorové stanici je stlačován plyn nebo vzdušina, zejména vzduch nebo vzdušina, které jsou do primárního kompresoru přivedeny prvním vstupem 14. Do primárního kompresoru dále ústí olejový okruh 16. V primárním kompresoru 13 dochází ke směšování stlačovaného plynu nebo vzdušiny a oleje v podobě kapiček nebo mlhy. Tato směs stlačeného plynu nebo vzdušiny a oleje je odváděna z primárního kompresoru 13 do olejového okruhu 16, a dále do olejového 55

separátoru 17, kde nastává oddělení fází stlačeného plynu nebo vzdušiny a oleje. Stlačený plyn nebo vzdušina opouští olejový separátor 17 prvním výstupem 15 stlačeného plynu nebo vzdušiny. Nahřátý olej je transportován potrubím olejového okruhu 16 do výměníku 3 tepla s chladicím okruhem 4, kde předá teplo chladivu a proudí zpět do primárního kompresoru 13. Nahřáté, případně přehřáté/odpařené chladivo je odvedeno potrubím chladicího okruhu 4 a vstupuje do expandéru 5 (expanzní turbíny), kde dojde ke snížení jeho tlaku a teploty, přičemž odevzdá svou energii expandéru. Po výstupu chladiva z expandéru 5 je toto odvedeno do tepelného výměníku – kondenzátoru 10 za účelem kondenzace chladiva a dalšího odevzdání tepla sekundárnímu chladicímu okruhu 11. Zkondenzované chladivo z kondenzátoru 10 je odvedeno do čerpadla 12, které žene studené chladivo opět do výměníku 3 tepla s olejovým okruhem 16, čímž je chladicí okruh 4 uzavřen. Expandér 5 přemění energii vstupujícího chladiva na mechanickou energii. Tato energie je pomocí společné hřídele 6 použita k pohonu sekundárního kompresoru 7, který stlačuje plyn nebo vzdušinu přivedenou druhým vstupem 8, zejména vzduch nebo vzdušinu, a pomocí druhého výstupu 9 je tento stlačený plyn nebo vzdušina dopravena k prvnímu výstupu 15 stlačeného plynu nebo vzdušiny vyrobeného primárním kompresorem 13, a přispívá tak k navýšení celkové produkce stlačeného plynu nebo vzdušiny (např. vzduchu) díky využití odpadního tepla.

Na obr. 3 je znázorněno další výhodné provedení zařízení pro využití odpadního tepla na principu ORC cyklu, kde v chladicím okruhu 4 po výstupu chladiva z expandéru 5 je toto odvedeno do rekuperačního výměníku 18 s vnitřní výměnou tepla, kde je ještě částečně podchlazeno. To znamená, že odevzdá část svého tepla a toto teplo je předáno chladivu vystupujícímu z čerpadla 12. Dále je ochlazené chladivo vedeno z rekuperačního výměníku 18 do kondenzátoru 10 za účelem dalšího odevzdání tepla a kondenzace chladiva. Zkondenzované chladivo z kondenzátoru 10 je odvedeno do čerpadla 12, které žene studené chladivo přes rekuperační výměník 18 opět do výměníku 3 tepla s okruhem 2 transportního média nebo olejovým okruhem 16, čímž je chladicí okruh 4 uzavřen.

Je nasnadě, že výše uvedené příklady provedení nezahmují všechny možné varianty Existuje ještě mnoho dalších možností pro využití dalších variant využití i jiných zdrojů odpadního tepla, které je možné využít pomocí tohoto ORC cyklu za účelem další výroby stlačeného vzduchu, případně navýšení této výroby. Jedná se především o odpadní provozní teplo z nejrůznějších aplikací.

Kondenzátor 10, výměník 3 tepla i rekuperační výměník 18 mohou být například uskutečněny jako tepelné výměníky deskové, a lze zapojit i více kusů paralelně nebo sériově, přičemž jejich minimální, provozní a testovací tlak je obvykle do hodnot 0/32/60 při 0 až 300 °C.

Čerpadlem 12 chladiva může být speciálně navržené zubové, spirálové případně membránové nebo podobné čerpadlo s maximálním pracovním přetlakem 200 bar.

Chladiva jsou s výhodou a bez omezení tohoto vynálezu vybrána ze skupiny syntetických látek jako jsou fluorované uhlovodíky, kterou tvoří chladiva skupin CFC, HFO, HFC, HCFC, HFC, HCFO, například 1234yf, 1233zd, 1234ze, 1224yd, 245fa a podobná chladiva anebo přírodní chladiva, optimálně s nízkým GWP a ODP dle ES 2006/40/EC. Lze ovšem použít i jiná chladiva neuvedená ve výše uvedeném seznamu.

45

Průmyslová využitelnost

Výše popsaný vynález má uplatnění v zařízeních a systémech, které využívají odpadní teplo na principu ORC kompresoru a při výrobě a využití stlačeného a zkapalněného vzduchu anebo vzdušiny.

50

PATENTOVÉ NÁROKY

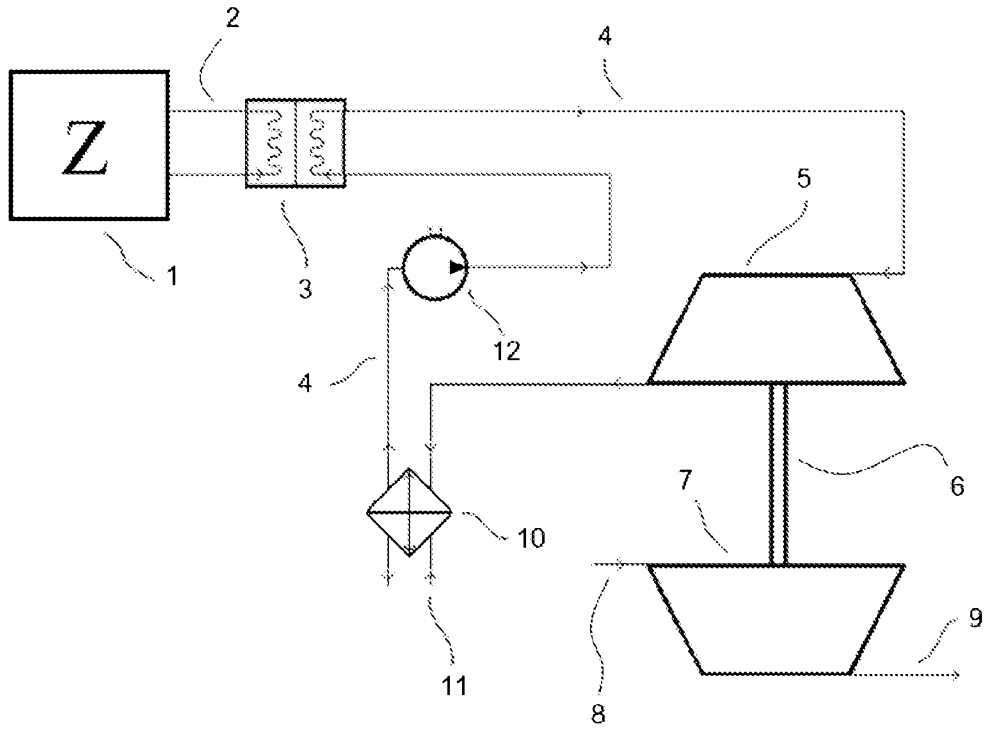
1. Zařízení pro využití odpadního tepla a výrobu stlačeného plynu, zejména vzduchu nebo
 5 vzdušiny, přičemž toto zařízení zahrnuje primární zdroj (1) odpadního tepla a chladicí okruh (4)
 s chladičem, který zahrnuje výměník (3) tepla pro předání tepla pocházejícího z primárního zdroje
 (1) odpadního tepla do chladicího okruhu (4), ve kterém je výměník (3) tepla dále připojen do
 expandéru (5) uspořádaného na společné hřídeli (6) se sekundárním kompresorem (7) a z
 10 expandéru (5) dále do kondenzátoru (10), který je napojen přes čerpadlo (12) zpět na výměník (3)
 tepla, přičemž sekundární kompresor (7) zahrnuje druhý vstup (8) plynu nebo vzdušiny a druhý
 výstup (9) stlačeného plynu nebo vzdušiny, **vyznačující se tím**, že zařízení pracuje na principu
 organického Rankin-Clausiova cyklu, přičemž primárním zdrojem (1) odpadního tepla je primární
 kompresor (13) zahrnující první vstup (14) plynu nebo vzdušiny a dále je primární zdroj (1)
 15 odpadního tepla napojen na okruh (2) transportního média, na který je dále připojen přes výměník
 (3) tepla chladicí okruh (4) s chladičem, přičemž okruhem (2) transportního média je olejový okruh
 (16), přičemž výstup z primárního kompresoru (13) je napojen na olejový okruh (16), který je dále
 připojen na olejový separátor (17), následně přes výměník (3) tepla na chladicí okruh (4)
 s chladičem, a pak zpět do primárního kompresoru (13), přičemž olejový separátor (17) zahrnuje
 20 první výstup (15) stlačeného plynu nebo vzdušiny.
2. Zařízení podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že druhý výstup (9) stlačeného plynu nebo
 vzdušiny ze sekundárního kompresoru (7) je napojen na první výstup (15) stlačeného plynu nebo
 vzdušiny z olejového separátoru (17).
- 25 3. Zařízení podle kteréhokoliv z předchozích nároků, **vyznačující se tím**, že v chladicím okruhu
 (4) je mezi expandérem (5) a kondenzátorem (10), a zároveň mezi čerpadlem (12) a výměníkem
 (3) tepla, uspořádán rekuperační výměník (18).

2 výkresy

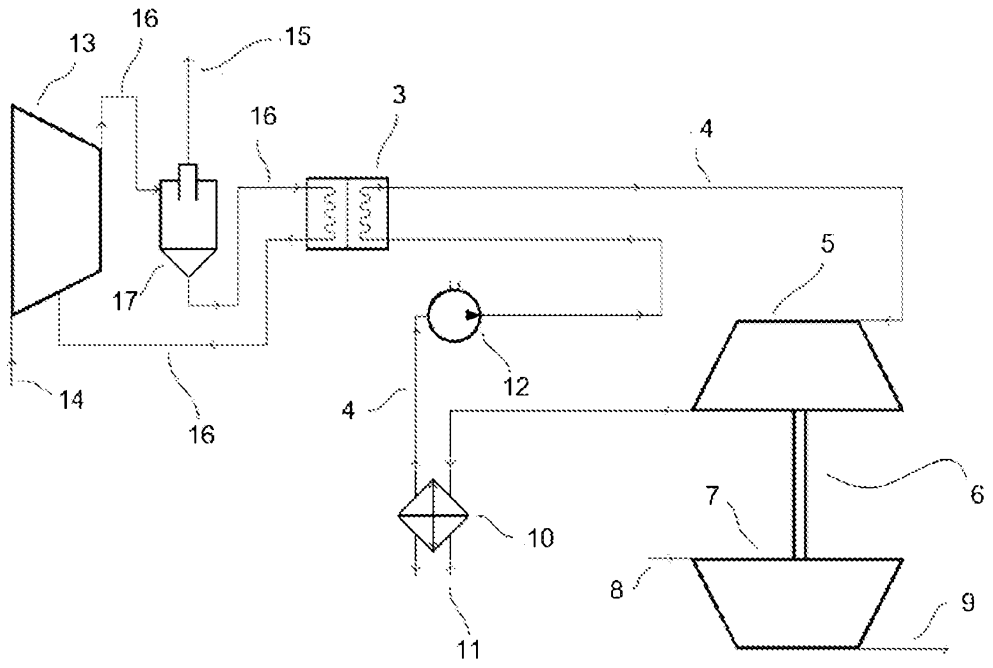
30

Seznam vztahových značek

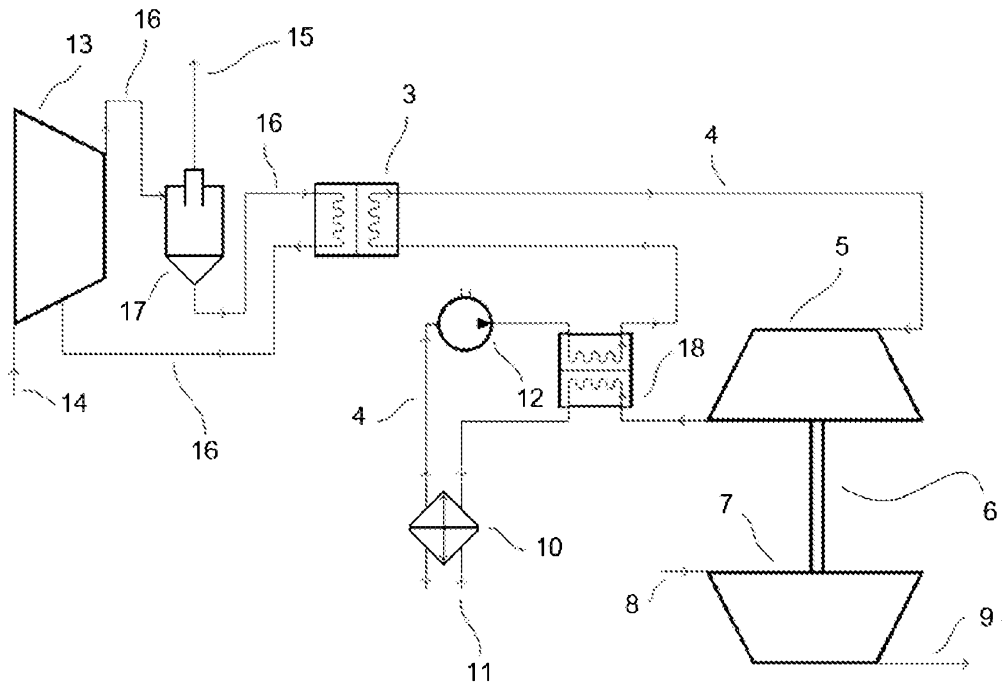
- 1 primární zdroj odpadního tepla
- 2 okruh transportního média
- 3 výměník tepla
- 4 chladicí okruh
- 5 expandér
- 6 hřídel
- 7 sekundární kompresor
- 8 druhý vstup plynu nebo vzdušiny do sekundárního kompresoru 7
- 9 druhý výstup stlačeného plynu nebo vzdušiny ze sekundárního kompresoru 7
- 10 kondenzátor
- 11 sekundární chladicí okruh
- 12 čerpadlo
- 13 primární kompresor
- 14 první vstup plynu nebo vzdušiny do primárního kompresoru 13
- 15 první výstup stlačeného plynu nebo vzdušiny z olejového separátoru 17
- 16 olejový okruh
- 17 olejový separátor
- 18 rekuperační výměník



Obr. 1



Obr. 2



Obr. 3