

F25J 1/00 (2006.01)
F25J 1/02 (2006.01)

(19)
 ČESKÁ
 REPUBLIKA



ÚŘAD
 PRŮMYSLOVÉHO
 VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2019-618**
 (22) Přihlášeno: **04.10.2019**
 (40) Zveřejněno: **16.12.2020**
(Věstník č. 51/2020)
 (47) Uděleno: **05.11.2020**
 (24) Oznámení o udělení ve věstníku: **16.12.2020**
(Věstník č. 51/2020)

(56) Relevantní dokumenty:
 WO 2015110779; WO 2016032701; EP 1008823; WO 2018007710.

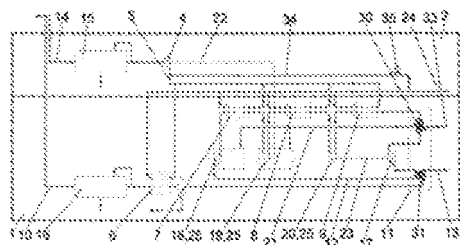
(73) Majitel patentu:
 SIAD Macchine Impianti S.p.A., Bergamo, IT
 GasNet, s.r.o., Ústí nad Labem, Klíše, CZ

(72) Původce:
 Pierluigi Gritti, Albino (BG), IT
 Daniele Santus, Treviglio (BG), IT
 Thomas Merker, Jablonec nad Nisou, CZ

(74) Zástupce:
 Milan Škoda, Nahořanská 308, 549 01 Nové Město
 nad Metují, Krčín

(54) Název vynálezu:
Zařízení pro zpracování zemního plynu

(57) Anotace:
 Zařízení pro zpracování zemního plynu, zejména zařízení pro zpracování zemního plynu obsahuje nejméně jeden zkapalňovací blok (1), který obsahuje přívod (10) zemního plynu, zkapalňovač (11), okruh (12) chladicího média a výstup (13) zkapalněného plynu. Zkapalňovací blok (1) je spojen s nejméně jedním blokem (2) pro redukci tlaku protékajícího zemního plynu k získání chladové energie z tlakově redukováného zemního plynu.



Zařízení pro zpracování zemního plynu

Oblast techniky

5

Vynález se týká zařízení pro zpracování zemního plynu, zejména zařízení pro zpracování zemního plynu obsahující zkapalňováním.

10 Dosavadní stav techniky

Ze současného stavu techniky je známa celá řada způsobů a konstrukčních řešení zařízení pro zkapalňování plynu. Známá jsou i zařízení pro zkapalňování zemního plynu.

15 Z patentového dokumentu CZ PV 1998-536 A3 je znám způsob zkapalňování plynu bohatého na uhlovodík, který se uskutečňuje pomocí kryogenerátoru tak, že se plyn pomocí absorbéru nejprve čistí od komponentů rušících při zkapalňování, především od vodní páry a kysličníku uhličitého. Vyčištěný plyn se ochlazuje, přičemž ochlazování se uskutečňuje expanzí v expanzní turbíně. Plyn se dále zkapalňuje pomocí kryogenerátoru, a nakonec se plyn vede do zásobní nádrže. Zařízení
20 k provádění tohoto způsobu je tvořeno absorbérem, ochlazovacím zařízením, popřípadě oddělovací jednotkou, kryogenerátorem, zásobní nádrží, motorem, který pohání kryogenerátor a elektrogenerátorem. Nevýhodou tohoto způsobu a zařízení je nízká produktivita a zejména vysoká spotřeba energie na jeho pohon.

25 Z dalšího patentového dokumentu CZ PV 1999-4556 A3 je znám způsob zkapalňování proudu plynu bohatého na methan o tlaku přibližně 3103 kPa, kde dále proud plynu expanduje na nižší tlak, za vzniku plynné fáze a kapalného produktu o teplotě pod $-112\text{ }^{\circ}\text{C}$ a dostatečném tlaku, aby byl kapalný produkt na teplotě bublinového varu nebo pod ní. Plynná fáze a kapalný produkt se potom ve vhodném separátoru fázi oddělí a kapalný produkt se přivede do skladovacího zařízení
30 k uložení při teplotě pod $-112\text{ }^{\circ}\text{C}$. Nevýhodou tohoto způsobu je vysoká spotřeba energie na provoz zařízení, které ho provádí.

Z patentového dokumentu CZ PV 1999-4557 A3 je znám způsob zkapalňování stlačeného zemního plynu bohatého na methan výměníkem tepla chlazeným kaskádním chladicím systémem
35 za tvorby kapalného produktu bohatého na methan o teplotě přibližně $112\text{ }^{\circ}\text{C}$. Při postupu proud stlačeného plynu přichází ve výměníku tepla do kontaktu s prvním chladicím okruhem, sestávajícím z nejméně jednoho chladicího stupně, čímž se proud plynu ochladí prvním podílem prvního chladiva za vzniku ochlazeného proudu plynu. Ochlazený proud plynu se potom uvede do kontaktu s druhým chladicím okruhem ve výměníku tepla, sestávajícím alespoň z jednoho
40 chladicího stupně, čímž se teplota ochlazeného proudu plynu sníží za vzniku kapalného produktu bohatého na methan o teplotě nad přibližně $-112\text{ }^{\circ}\text{C}$ a tlaku dostatečném k tomu, aby se získal kapalný produkt při teplotě bublinového varu nebo pod ní. Stejně jako u předchozích konstrukčních řešení je nevýhodou toho způsobu vysoká vnitřní spotřeba energie na provoz zařízení, které ho
45 provádí.

Z výše uvedeného stavu techniky je známa celá řada nevýhod, přičemž jako nejvýraznější nevýhoda se jeví to, že známá zařízení, a způsoby, jak pracují, mají vysokou spotřebu energie na svůj provoz.

50 Cílem vynálezu je konstrukce zařízení pro zpracování zemního plynu jeho zkapalňováním, které bude mít výrazně nižší náklady na svůj provoz.

Podstata vynálezu

Uvedené nedostatky do značné míry odstraňuje a cíle vynálezu naplňuje zařízení pro zpracování zemního plynu, zejména zařízení pro zpracování zemního plynu obsahující nejméně jeden zkapaňovací blok, který obsahuje přívod zemního plynu, zkapaňovač, okruh chladicího média a výstup zkapaňovaného plynu, podle vynálezu, jehož podstata spočívá v tom, že zkapaňovací blok je spojen s nejméně jedním blokem pro redukci tlaku protékajícího zemního plynu k získání chladové energie z tlakově redukovaného zemního plynu. Výhodou je to, že dochází k zpětnému získávání energie chladu, která pochází ze snižování tlaku toku zemního plynu, zejména v redukčních stanicích v sítích na přepravu nebo distribuci zemního plynu nebo při procesu vypouštění plynu ze zásobníku zemního plynu, a to přes ventily nebo systémy pro expanzi plynu, nebo je jiným způsobem získána z již pochlazeného zemního plynu, a její využití při zkapaňování zemního plynu, který je odebírán z distribuční sítě, na zkapaňovaný zemní plyn, při současném snižování spotřeby elektřiny v procesu zkapaňování využíváním energie chladu získané expanzí zemního plynu. Výhodou je to, že je jednoduše využita chladová energie, která způsobuje problémy v redukčních stanicích zemního plynu při redukci protékajícího plynu, kterými je například tvorba pevných methanhydrátů. Chladová energie je využita k úspoře nákladů na zařízení pro zkapaňování zemního plynu, a dále k úspoře nákladů na přehřev tohoto protékajícího zemního plynu, které by bylo potřeba pro to, aby se pevné methanhydráty netvořili.

Ve výhodném provedení obsahuje blok pro redukci tlaku protékajícího zemního plynu nejméně jednu expanzní turbínu, která je svým nejméně jedním prvním výstupem tlakově redukovaného zemního plynu spojena s nejméně jedním tepelným výměníkem, který je součástí zkapaňovacího bloku. Výhodou tohoto konstrukčního řešení je relativně nejjednodušší a nejlevnější propojení bloku pro redukci tlaku protékajícího zemního plynu se zkapaňovacím blokem.

Výhodné také je, když zkapaňovací blok dále obsahuje čisticí zařízení zemního plynu, které je uspořádáno na přívodu zemního plynu před jeho vstupem do zkapaňovače. Výhodou je to, že na výstupu z čisticího zařízení obsahuje zemní plyn pouze to, co se dá zkapaňnit, přičemž čisticí zařízení odstraní ze zemního plynu všechny složky, které by jednak mohly působit problémy při zkapaňování, a které by zároveň snižovaly kvalitu vystupujícího zkapaňovaného zemního plynu.

Dále je výhodné, když je nejméně jeden tepelný výměník umístěn na přívodu zemního plynu do zkapaňovače, přičemž nejvýhodnější je, když je tepelný výměník uspořádán mezi čisticím zařízením zemního plynu a zkapaňovačem. Výhodou je to, že dojde k předchlazení zemního plynu vstupujícího do zkapaňovače a tím k zjednodušení a zefektivnění procesu zkapaňování.

Dále je také velice výhodné, když je nejméně jeden tepelný výměník umístěn na okruhu chladicího média, přičemž je tak jednoduše umožněno dodávání chladové energie z redukce tlaku zemního plynu, a zároveň je zemní plyn s redukovaným tlakem ohříván, což omezuje komplikace způsobené jeho nízkou teplotou při jeho distribuci.

S výhodou dále obsahuje blok pro redukci tlaku protékajícího zemního plynu zařízení pro odstraňování vody ze zemního plynu, které je uspořádáno před expanzní turbínou na přívodu zemního plynu. Výhodou je to, že je odstraněna voda, která by jinak způsobila problémy při redukci tlaku zemního plynu, přesněji mohla by způsobit omezení průtoku díky svému namrznutí na stěny.

Velice výhodné je, když okruh chladicího média dále obsahuje expanzní turbínu chladicího média a nejméně jedno zařízení pro kompresi chladicího média, kterým je recyklační kompresor, a/nebo sekundární kompresor, a/nebo posilovací kompresor. Výhodou je to, že tato zařízení zajistí vychlazení chladicího média tak, že zkapaňování probíhá rychle, efektivně a bez komplikací.

V optimálním konstrukčním uspořádání je na okruhu chladicího média, ve směru pohybu chladicího média, uspořádán zkapaňovač, který je spojen s recyklačním kompresorem, který je

spojen s tepelným výměníkem, který je spojen se sekundárním kompresorem, který je spojen s dalším tepelným výměníkem, který je spojen s posilovacím kompresorem, který je spojen s dalším tepelným výměníkem, který je spojen se zkapalňovačem. Výhodou je to, že je možné, před opětovným stupem chladicího média do zkapalňovače, připravit co nejvýhodnější teplotu chladicího média pro zkapalňovací proces.

Ve výhodném provedení také obsahuje zkapalňovač nejméně jeden výměník, uspořádaný současně na okruhu chladicího média ve směru pohybu chladicího média, který je spojen s expanzní turbínou chladicího média uspořádanou mimo zkapalňovač, která je spojena se zkapalňovacím výměníkem uspořádaným ve zkapalňovači.

Dále je výhodné, když je expanzní turbína chladicího média hřídelí spojena s posilovacím kompresorem. Výhodou je jednoduché konstrukční řešení, které dále snižuje spotřebu energie potřebné na zkapalňování. Variantně může být přenos energie z expanzní turbíny chladicího média do posilovacího kompresoru řešen tak, že expanzní turbína je spojena s generátorem elektrické energie, která je vedena do posilovacího kompresoru k jeho pohonu.

Výhodné také je, když zkapalňovací blok dále obsahuje doplňovací vedení chladicího média, které napojeno na okruh chladicího média k doplnění ztrát chladicího média v expanzní turbíně chladicího média.

Je výhodné, když je doplňovací vedení chladicího média na okruh chladicího média napojeno v nejméně jednom zařízení pro expanzi chladicího média. V nejvýhodnějším provedení je zařízením pro expanzi chladicího média sekundární kompresor a/nebo recyklační kompresor, na které je napojeno doplňovací vedení chladicího média. Výhodou je relativně jednoduchá konstrukce zajišťující bezproblémový provoz.

Výhodné také je, když doplňovací vedení chladicího média nejprve prochází přes chladicí výměník zkapalňovače. Výhodou je to, že přiváděné chladicí médium je v kapalně formě, přičemž při jeho přeměně na plynnou fázi dochází k výdeji chladivé energie, která je s výhodou využita k dalšímu předchlazení chladicího média před jeho vstupem do zkapalňovacího procesu.

Z pohledu další významné úspory nákladů je výhodné, když je expanzní turbína, uspořádaná v bloku pro redukci tlaku protékajícího zemního plynu, hřídelí spojena se sekundárním kompresorem, uspořádaným ve zkapalňovacím bloku. Variantně může být opět přenos energie z expanzní turbíny do sekundárního kompresoru řešen tak, že je expanzní turbína spojena s generátorem elektrické energie, která je vedena do sekundárního kompresoru k jeho pohonu.

Z technického hlediska je nejvýhodnějším chladicím médiem dusík.

Velice výhodné dále je, když zařízení pro zpracování zemního plynu dále obsahuje nejméně jeden další nezávislý blok pro redukci tlaku protékajícího zemního plynu. Výhodou je, že tak je možné zajistit stabilní průtok přiváděného zemního plynu do alespoň jednoho bloku pro redukci tlaku protékajícího zemního plynu, a že nezávisle na sezónních změnách velikosti vystupujícího proudu tlakově redukovaného zemního plynu, je zajištěna i stabilní výroba zkapalněného zemního plynu, a to i v obdobích, kdy je celkový přítok zemního plynu vyšší, než je plánovaná velikost toku zemního plynu blokem pro redukci tlaku protékajícího zemního plynu a zkapalňovacím blokem, přičemž tok přesahující tuto plánovanou velikost bude směřován do dalšího nezávislého bloku pro redukci tlaku protékajícího zemního plynu.

Hlavní výhodou zařízení pro zpracování zemního plynu, podle vynálezu je to, že využívá jinak nevyužitou nebo dokonce škodlivou chladivou energii, která je vytvářena při procesu snižování tlaku zemního plynu v regulačních stanicích pro snižování tlaku zemního plynu umístěných obvykle na rozhraní mezi vysokotlakým a středotlakým nebo nízkotlakým tokem v distribučních nebo přepravních sítích zemního plynu.

Další výhodou je možnost výroby zkapalněného zemního plynu i v oblastech vzdálených od terminálů zkapalněného zemního plynu za konkurenční ceny ze zemního plynu, který je odebrán z běžných přepravních nebo distribučních sítí. Další potencionální výhodou zařízení pro zpracování zemního plynu podle vynálezu je to, že ho lze využít jako součást regulační plynové stanice pro stabilizaci průtoku plynu v obdobích s jeho nižší a vyšší spotřebou, kdy v okamžiku nižší spotřeby plynu, například v létě, se přebytečný zemní plyn zkapalňuje a ukládá v zásobníku, z kterého se v okamžiku zvýšené spotřeby, například v zimě uvolňuje, přičemž proud plynu vstupujícího do regulační stanice může být stále stejný.

Zařízení pro zpracování zemního plynu, podle vynálezu, přináší významné ekonomické úspory. Oproti známému řešení dochází k významným úsporám elektrické energie při provozu systému dusíku. Je zapotřebí méně energie, protože část chladicí energie je zajištěna ochlazeným tokem plynu z bloku pro redukci tlaku protékajícího zemního plynu. Pro srovnání má známé zkapalňovací zařízení, s kapacitou 25 tun zkapalněného zemního plynu, využívající jako chladicí médium dusík, měrnou spotřebu elektřiny nejméně 0,56 kWh na Nm³ zkapalněného zemního plynu, při spotřebě nejméně 0,10 Nm³ dusíku na Nm³ zkapalněného zemního plynu, přičemž zařízení pro zpracování zemního plynu, podle vynálezu, umožňuje snížení měrné spotřeby elektřiny na zkapalňování zemního plynu přibližně o 75 %, při mírném navýšení spotřeby dusíku přibližně o 0,03 Nm³ dusíku na Nm³ zkapalněného zemního plynu. Dále je také z hlediska provozovatele distribuční sítě velice výhodné to, že lze ušetřit značné množství energie na předehřev, protože tok zemního plynu z bloku pro redukci tlaku protékajícího zemního plynu má po průchodu přes tepelné výměníky teplotu vyšší než požadované 4 °C.

Objasnění výkresů

Vynález bude bližší osvětlen pomocí výkresu, na kterém obr. 1 znázorňuje zapojení obsahující zkapalňovací blok a blok pro redukci tlaku protékajícího zemního plynu a obr. 2 znázorňuje zapojení obsahující zkapalňovací blok, blok pro redukci tlaku protékajícího zemního plynu a další nezávislý blok pro redukci tlaku protékajícího zemního plynu.

Příklady uskutečnění vynálezu

Příklad 1

Zařízení pro zpracování zemního plynu (obr. 1) obsahuje zkapalňovací blok 1, který obsahuje vysokotlaký přívod 10 zemního plynu, zkapalňovač 11, okruh 12 chladicího média, kterým je dusík, a výstup 13 zkapalněného plynu. Zkapalňovací blok 1 je spojen s blokem 2 pro redukci tlaku protékajícího zemního plynu k získání chladové energie z tlakově redukovaného zemního plynu.

Blok 2 pro redukci tlaku protékajícího zemního plynu obsahuje expanzní turbínu 4, která je svým prvním výstupem 5 tlakově redukovaného plynu spojena se čtyřmi tepelnými výměníky 6, 7, 8, 9, které jsou součástí zkapalňovacího bloku 1. Expanzní turbína 4 je dále svým druhým výstupem 34 spojena s redukčním ventilem 35, který je dále spojen nízkotlakým výstupem 24 zemního plynu.

Blok 2 pro redukci tlaku protékajícího zemního plynu dále obsahuje zařízení 15 pro odstraňování vody ze zemního plynu, které je uspořádáno před expanzní turbínou 4 na vysokotlakém přívodu 14 zemního plynu.

Zkapalňovací blok 1 dále obsahuje čisticí zařízení 16 zemního plynu, které je uspořádáno na vysokotlakém přívodu 10 zemního plynu před jeho vstupem do zkapalňovače 11.

Mezi čisticím zařízením 16 zemního plynu a zkapařovačem 11 je na vysokotlakém přívodu 10 zemního plynu do zkapařovače 11 uspořádán tepelný výměník 6.

Na okruhu 12 chladicího média jsou uspořádány tři tepelné výměníky 7, 8, 9.

5

Okruh 12 chladicího média dále obsahuje expanzní turbínu 17 chladicího média a tři zařízení 25 pro kompresi chladicího média, kterým jsou recyklační kompresor 18, sekundární kompresor 19, a posilovací kompresor 20.

10

Na okruhu 12 chladicího média je, ve směru pohybu chladicího média, uspořádán zkapařovač 11, který je spojen s recyklačním kompresorem 18, 25, který je spojen s tepelným výměníkem 7, který je spojen se sekundárním kompresorem 19, 25, který je spojen s dalším tepelným výměníkem 8, který je spojen s posilovacím kompresorem 20, 25, který je spojen s dalším tepelným výměníkem 9, který je spojen se zkapařovačem 11.

15

Zkapařovač 11 obsahuje výměník 30, uspořádaný současně na okruhu 12 chladicího média ve směru pohybu chladicího média, který je spojen s expanzní turbínou 17 chladicího média uspořádanou mimo zkapařovač 11, která je spojena se zkapařovacím výměníkem 31 uspořádaným ve zkapařovači 11.

20

Expanzní turbína 17 chladicího média je hřídelí 23 spojena s posilovacím kompresorem 20. Podle neznázorněné varianty může být expanzní turbína 17 chladicího média spojena s elektrickým generátorem, který je elektrickým vedením spojen s pohonem posilovacího kompresoru 20.

25

Expanzní turbína 4, uspořádaná v bloku 2 pro redukci tlaku protékajícího zemního plynu, je hřídelí 22 spojena se sekundárním kompresorem 19, uspořádaným v zkapařovacím bloku 1. Podle neznázorněné varianty může být tato expanzní turbína 4 s elektrickým generátorem, který je elektrickým vedením spojen s pohonem sekundárního kompresoru 19.

30

Zkapařovací blok 1 dále obsahuje doplňovací vedení 21 chladicího média, které je napojeno na okruh 12 chladicího média k doplnění ztrát chladicího média, přičemž doplňovací vedení 21 chladicího média nejprve prochází přes chladicí výměník 30 zkapařovače 11. Doplňovací vedení 21 chladicího média je na okruh 12 chladicího média napojeno v dvou zařízeních 25 pro expanzi chladicího média, kterými jsou sekundární kompresor 19 a recyklační kompresor 18.

35

Zařízení pro zpracování zemního plynu pracuje tak, že do bloku 2 pro redukci tlaku protékajícího zemního plynu je vysokotlakým přívodem 14 přiváděn zemní plyn, přičemž chladová energie z procesu redukce tlaku je následně využita jako část chladové energie potřebné pro zkapařování zemního plynu.

40

Nejprve se z toku tohoto zemního plynu odstraní v zařízení 15 pro odstraňování vody ze zemního plynu voda, čímž se zabrání zamrznutí jejího obsahu v ochlazeném zemním plynu při expanzi, respektive za expanzi v expanzní turbíně 4. Zařízení 15 pro odstraňování vody ze zemního plynu odstraní vodu v toku zemního plynu a sníží její obsah na hodnotu 1 ppm.

45

Suchý zemní plyn je veden přes expanzní turbínu 4, přičemž hladina jeho tlaku klesá z vysokého tlaku na střední tlak, nebo nízký tlak, například z hodnot tlaku 8 až 4 MPa na hodnoty tlaku 2,5 až 0,5 MPa.

50

Teplota zemního plynu před expanzní turbínou 4 se pohybuje v rozmezí 4 až 20 °C v závislosti na počasí. Z důvodu adiabatické expanze dosahuje jeho teplota po expanzi v expanzní turbíně 4 hodnoty -40 až -25 °C, přičemž čím vyšší je poměr tlaku na přítoku plynu na jedné straně expanzní turbíny 4 a na odtoku plynu za expanzní turbínou 4 na straně druhé, tím nižší jsou dosažené teploty.

Takto ochlazený tok zemního plynu vstupuje tedy do tepelných výměníků 6, 7, 8, 9 s teplotou -40 až -25°C, přičemž přenáší chladovou energii z ochlazeného toku zemního plynu z bloku 2 pro redukci tlaku protékajícího zemního plynu, do tepelného výměníku 6 ochlazujícího zemní plyn před vstupem do zkapařovače 11, a paralelně prostřednictvím tří tepelných výměníků 7, 8, 9 na chladicí médium, kterým je dusík, které koluje v okruhu 12 chladicího média, který je součástí zkapařovacího bloku 1, čímž dochází předchlazení dusíku před vstupem do zkapařovače 11.

Další část zařízení pro zpracování zemního plynu, kterým je zkapařovací blok 1, obsahuje okruh 12 chladicího média, kterým je dusík. Okruh 12 chladicího média zajišťuje opakované stlačování a expanzi dusíku, který při tom dosahuje teploty pod -140 °C v plynném skupenství, o tlaku na úrovni 0,3 až 0,5 MPa.

Tok zemního plynu určeného ke zkapařování nejprve vstupuje do čistícího zařízení 16 zemního plynu, ve kterém dojde k odstranění CO₂ a vody, jakož i dalších nečistot v toku zemního plynu. To zabráňuje zamrznutí zbytků CO₂ a vody v zemním plynu během procesu expanze a zkapařování.

Za čistícím zařízením 16 je tok zemního plynu předchlazen vedením plynu přes tepelný výměník tepla 6, přičemž teplota zemního plynu klesá z hodnoty 4 až 20 °C na -30 až -15 °C.

Následně vstupuje tok zemního plynu do zkapařovače 11, přičemž plynný dusík mu ve zkapařovacím výměníku 31 předá chladovou energii, přičemž vznikne zkapařovaný zemní plyn, který vystupuje ze zkapařovače 11 při teplotě -145 až 155 °C.

Zařízení uspořádaná na okruhu 12 chladicího média pracují tak, že plynný dusík obíhá okruhem 12 chladicího média, přičemž plynný dusík o teplotě -70 °C až -60 °C expanduje v expanzní turbíně 17 chladicího média, přičemž dosahuje teploty -150 °C až -140 °C, přičemž jeho výstupní tlak z expanzní turbíny 17 se pohybuje v rozmezí od 0,3 MPa do 0,5 MPa. Plynný dusík je pak veden ve zkapařovacím výměníku 31 do obráceného toku s tokem zemního plynu.

Zatímco se teplota plynného dusíku zvyšuje ve zkapařovacím výměníku 31 z hodnoty -150 až -140 °C na hodnotu -15 až -30 °C, teplota zemního plynu klesá z hodnoty -15 až -30 °C na hodnotu -145 až -155 °C, což způsobuje jeho zkapařování.

Plynný dusík, poté, co ve zkapařovacím výměníku 31 předá chladovou energii toku zemního plynu, opouští zkapařovač 11 při teplotě -15 až -30 °C a tlaku 0,3 až 0,5 MPa, a je odeslán na sání recyklačního kompresoru 18, který plynný dusík stlačí na tlak 0,5 až 1 MPa, při teplotě +40 až +60 °C.

Plynný dusík dále vstupuje do tepelného výměníku 7, ve kterém jeho teplota klesá z hodnoty 40 až 60 °C na -15 až -5 °C. Tím je zajištěna nižší vstupní teplota dusíku do sekundárního kompresoru 19, 25, kterým je dále stlačen na tlak 1 až 2,2 MPa, při teplotě +60 až +70 °C.

Plynný dusík dále vstupuje do tepelného výměníku 8, ve kterém jeho teplota klesá z hodnoty 60 až 70 °C na -15 až -5 °C. Tím je zajištěna nižší vstupní teplota dusíku do posilovacího kompresoru 20, 25, kterým je dále stlačen na tlak 1,5 až 4 MPa, při teplotě +40 až +50 °C.

Plynný dusík dále vstupuje do tepelného výměníku 9, ve kterém jeho teplota klesá z hodnoty 40 až 50 °C na -20 až -10 °C. Tím je zajištěna nižší vstupní teplota dusíku do zkapařovače 11.

Plynný dusík dále vstupuje do zkapařovače 11, přesněji do jeho výměníku 30, kde dochází díky předání chladové energie od přiváděného kapalného dusíku a dále k snížení teploty plynného dusíku obíhajícího okruhem 12 chladicího média z hodnoty -20 až -10 °C na -70 až -60 °C.

Následně je oběh plynného dusíku okruhem 12 chladicího média uzavřen jeho opětovným vstupem do expanzní turbíny 17 chladicího média.

Zkapalňovací blok 1 dále obsahuje přívod 33 kapalného chladicího média, kterým je kapalný dusík, který vstupuje o průtoku cca 200 Nm³/h a o teplotě -170 až -175 °C do výměníku 30 zkapalňovače 11, ve kterém se kapalný dusík odpařuje, a z kterého následně vstupuje plynný dusík o průměrné teplotě -20 °C do doplňovacího vedení 21, které ho vede přes recyklační kompresor 18, 25 a sekundární kompresor 19, 25, do okruhu 12 chladicího média, pro kompenzaci úniků dusíku těsněními expanzní turbíny 17 chladicího média, recyklačního kompresoru 18, sekundárního kompresoru 19, a posilovacího kompresoru 20.

Co se týká přivádění toku chladného zemního plynu z bloku 2 pro redukci tlaku protékajícího zemního plynu do tepelných výměníků 6, 7, 8, 9, tak ten je k nim přiváděn o teplotě -40 až -25 °C a při tlaku 0,6 až 2,6 MPa.

Teplota zemního plynu v toku z bloku 2 pro redukci tlaku protékajícího zemního plynu vzrůstá v tepelném výměníku 6 z hodnoty -40 až -25 °C na 0 až 10 °C, zatímco teplota toku plynu vstupujícího do zkapalňovače 11 klesá z hodnoty 4 až 20 °C na hodnotu -30 až -15 °C.

Teplota zemního plynu v toku z bloku 2 pro redukci tlaku protékajícího zemního plynu vzrůstá v tepelném výměníku 7 z hodnoty -40 až -25 °C na 30 až 50 °C, zatímco teplota dusíku klesá z hodnoty +40 až +60 °C na -15 až -5 °C.

Teplota zemního plynu v toku z bloku 2 pro redukci tlaku protékajícího zemního plynu vzrůstá v tepelném výměníku 8 z hodnoty -40 až -25 °C na +40 až +55 °C, zatímco teplota dusíku klesá z hodnoty +60 až +70 °C na -15 až -5 °C.

Teplota zemního plynu v toku z bloku 2 pro redukci tlaku protékajícího zemního plynu vzrůstá v tepelném výměníku 9 z hodnoty -40 až -25 °C na 25 až 40 °C, zatímco teplota dusíku klesá z hodnoty 40 až 50 °C na -20 až -10 °C.

30 Příklad 2

Zařízení pro zpracování zemního plynu (obr. 2) obsahuje zkapalňovací blok 1, který obsahuje vysokotlaký přívod 10 zemního plynu, zkapalňovač 11, okruh 12 chladicího média, kterým je dusík, a výstup 13 zkapalněného plynu. Zkapalňovací blok 1 je spojen s blokem 2 pro redukci tlaku protékajícího zemního plynu k získání chladové energie z tlakově redukovaného zemního plynu.

Blok 2 pro redukci tlaku protékajícího zemního plynu obsahuje expanzní turbínu 4, která je svým prvním výstupem 5 tlakově redukovaného plynu spojena se čtyřmi tepelnými výměníky 6, 7, 8, 9, které jsou součástí zkapalňovacího bloku 1. Expanzní turbína 4 je dále svým druhým výstupem 34 spojena s redukčním ventilem 35, který je dále spojen nízkotlakým výstupem 24 zemního plynu.

Blok 2 pro redukci tlaku protékajícího zemního plynu dále obsahuje zařízení 15 pro odstraňování vody ze zemního plynu, které je uspořádáno před expanzní turbínou 4 na vysokotlakém přívodu 14 zemního plynu.

Zkapalňovací blok 1 dále obsahuje čisticí zařízení 16 zemního plynu, které je uspořádáno na vysokotlakém přívodu 10 zemního plynu před jeho vstupem do zkapalňovače 11.

Mezi čisticím zařízením 16 zemního plynu a zkapalňovačem 11 je na vysokotlakém přívodu 10 zemního plynu do zkapalňovače 11 uspořádán tepelný výměník 6.

Na okruh 12 chladicího média jsou uspořádány tři tepelné výměníky 7, 8, 9.

Okruh 12 chladicího média dále obsahuje expanzní turbínu 17 chladicího média a tři zařízení 25 pro kompresi chladicího média, kterými jsou recyklační kompresor 18, sekundární kompresor 19, a posilovací kompresor 20.

5 Na okruhu 12 chladicího média je, ve směru pohybu chladicího média, uspořádán zkapaňovač 11, který je spojen s recyklačním kompresorem 18, 25, který je spojen s tepelným výměníkem 7, který je spojen s sekundárním kompresorem 19, 25, který je spojen s dalším tepelným výměníkem 8, který je spojen s posilovacím kompresorem 20, 25, který je spojen s dalším tepelným výměníkem 9, který je spojen se zkapaňovačem 11.

10 Zkapaňovač 11 obsahuje výměník 30, uspořádaný současně na okruhu 12 chladicího média ve směru pohybu chladicího média, který je spojen s expanzní turbínou 17 chladicího média uspořádanou mimo zkapaňovač 11, která je spojena se zkapaňovacím výměníkem 31 uspořádaným ve zkapaňovači 11.

15 Expanzní turbína 17 chladicího média je hřídelí 23 spojena s posilovacím kompresorem 20. Podle neznázorněné varianty může být expanzní turbína 17 chladicího média spojena s elektrickým generátorem, který je elektrickým vedením spojen s pohonem posilovacího kompresoru 20.

20 Expanzní turbína 4, uspořádaná v bloku 2 pro redukci tlaku protékajícího zemního plynu, je hřídelí 22 spojena se sekundárním kompresorem 19, uspořádaným v zkapaňovacím bloku 1. Podle neznázorněné varianty může být tato expanzní turbína 4 s elektrickým generátorem, který je elektrickým vedením spojen s pohonem sekundárního kompresoru 19.

25 Zkapaňovací blok 1 dále obsahuje doplňovací vedení 21 chladicího média, které je napojeno na okruh 12 chladicího média k doplnění ztrát chladicího média, přičemž doplňovací vedení 21 chladicího média nejprve prochází přes výměník 30 zkapaňovače 11. Doplňovací vedení 21 chladicího média je na okruh 12 chladicího média napojeno v dvou zařízeních 25 pro expanzi chladicího média, kterými jsou sekundární kompresor 19 a recyklační kompresor 18.

30 Zařízení pro zpracování zemního plynu dále obsahuje jeden další nezávislý blok 3 pro redukci tlaku protékajícího zemního plynu.

35 Zařízení pro zpracování zemního plynu pracuje stejně jako zařízení podle příkladu 1, přičemž navíc pracuje v nezávislém bloku 3 pro redukci tlaku protékajícího zemního plynu tak, že zatímco je stabilní tok plynu veden vysokotlakými přívody 10, 14 do zkapaňovacího bloku 1 a do bloku 2 pro redukci tlaku protékajícího zemního plynu, je zbývající objemový tok plynu přesahující navržený průtok zkapaňovacím blokem 1 veden vysokotlakým přívodem 29 zemního plynu přes předeřívák 27 do expanzní turbíny 26, která je připojena ke generátoru 28. Pokud je překročení průtoku plynu co do objemu relativně malé, použije se k provedení redukce tlaku plynu místo expanzní turbíny 26 škrticí ventil 32. Škrticí ventil 32 rovněž slouží jako záložní řešení pro obtok plynu kolem expanzní turbíny 26 v případě nouze, oprav expanzního systému nebo v jiných situacích, kdy jeho provoz nebude možný.

45 Předeřívák 27 je instalován proto, aby se zabránilo nežádoucímu zamrznání vody a kondenzaci těžkých uhlovodíků v expandovaném zemním plynu.

Průmyslová využitelnost

50 Zařízení pro zpracování zemního plynu podle vynálezu lze zejména využít k výrobě zkapaňovaného zemního plynu a k výrobě zemního plynu s redukováným tlakem.

PATENTOVÉ NÁROKY

1. Zařízení pro zpracování zemního plynu, zejména zařízení pro zpracování zemního plynu obsahující nejméně jeden zkapařovací blok (1), který obsahuje přívod (10) zemního plynu, zkapařovač (11), okruh (12) chladicího média a výstup (13) zkapařného plynu, **vyznačující se tím**, že zkapařovací blok (1) je spojen s nejméně jedním blokem (2) pro redukci tlaku protékajícího zemního plynu k získání chladové energie z tlakově redukovaného zemního plynu.
2. Zařízení pro zpracování zemního plynu podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že blok (2) pro redukci tlaku protékajícího zemního plynu obsahuje nejméně jednu expanzní turbínu (4), která je svým nejméně jedním prvním výstupem (5) tlakově redukovaného plynu spojena s nejméně jedním tepelným výměníkem (6, 7, 8, 9), který je součástí zkapařovacího bloku (1).
3. Zařízení pro zpracování zemního plynu podle některého z předchozích nároků, **vyznačující se tím**, že zkapařovací blok (1) dále obsahuje čisticí zařízení (16) zemního plynu, které je uspořádáno na přívodu (10) zemního plynu před jeho vstupem do zkapařovače (11).
4. Zařízení pro zpracování zemního plynu podle některého z nároků 2 a 3, **vyznačující se tím**, že nejméně jeden tepelný výměník (6) je umístěn na přívodu (10) zemního plynu do zkapařovače (11).
5. Zařízení pro zpracování zemního plynu podle některého z nároků 2 až 4, **vyznačující se tím**, že tepelný výměník (6) je uspořádán mezi čisticím zařízením (16) zemního plynu a zkapařovačem (11).
6. Zařízení pro zpracování zemního plynu podle některého z nároků 2 až 5, **vyznačující se tím**, že nejméně jeden tepelný výměník (7, 8, 9) je umístěn na okruhu (12) chladicího média.
7. Zařízení pro zpracování zemního plynu podle některého z předchozích nároků, **vyznačující se tím**, že blok (2) pro redukci tlaku protékajícího zemního plynu dále obsahuje zařízení (15) pro odstraňování vody ze zemního plynu, které je uspořádáno před expanzní turbínou (4) na přívodu (14) zemního plynu.
8. Zařízení pro zpracování zemního plynu podle některého z předchozích nároků, **vyznačující se tím**, že okruh (12) chladicího média dále obsahuje expanzní turbínu (17) chladicího média a nejméně jedno zařízení (25) pro kompresi chladicího média, kterým je recyklační kompresor (18), a/nebo sekundární kompresor (19), a/nebo posilovací kompresor (20).
9. Zařízení pro zpracování zemního plynu podle některého z předchozích nároků, **vyznačující se tím**, že na okruhu (12) chladicího média je, ve směru pohybu chladicího média, uspořádán zkapařovač (11), který je spojen s recyklačním kompresorem (18, 25), který je spojen s tepelným výměníkem (7), který je spojen se sekundárním kompresorem (19, 25), který je spojen s dalším tepelným výměníkem (8), který je spojen s posilovacím kompresorem (20, 25), který je spojen s dalším tepelným výměníkem (9), který je spojen se zkapařovačem (11).
10. Zařízení pro zpracování zemního plynu podle nároku 9, **vyznačující se tím**, že zkapařovač (11) obsahuje nejméně jeden výměník (30), uspořádaný současně na okruhu (12) chladicího média ve směru pohybu chladicího média, který je spojen s expanzní turbínou (17) chladicího média uspořádanou mimo zkapařovač (11), která je spojena se zkapařovacím výměníkem (31) uspořádaným ve zkapařovači (11).
11. Zařízení pro zpracování zemního plynu podle nároku 10, **vyznačující se tím**, že expanzní turbína (17) chladicího média je hřídelí (23) spojena s posilovacím kompresorem (20).

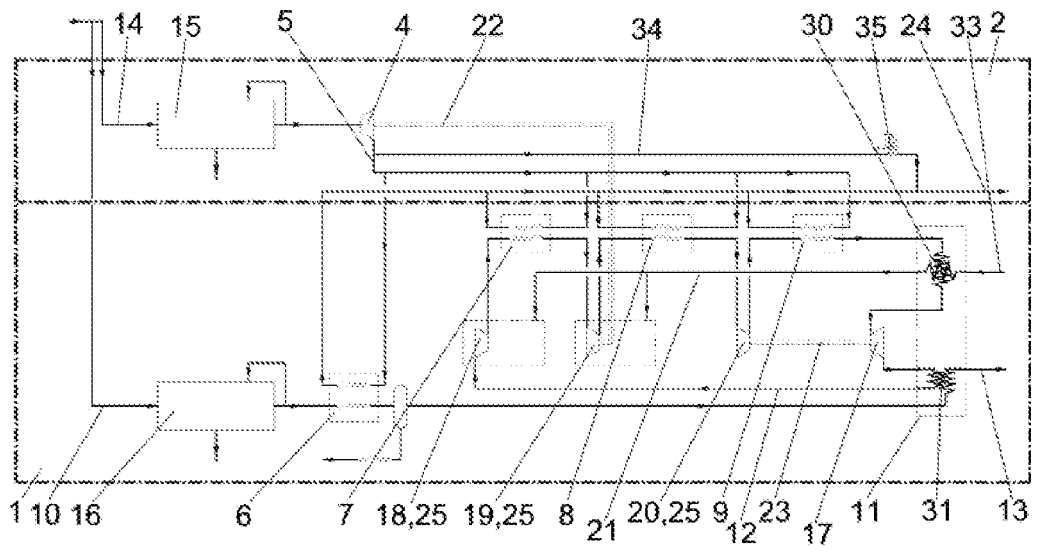
12. Zařízení pro zpracování zemního plynu podle některého z předchozích nároků, **vyznačující se tím**, že zkapaňovací blok (1) dále obsahuje doplňovací vedení (21) chladicího média, které napojeno na okruh (12) chladicího média k doplnění ztrát chladicího média.
- 5 13. Zařízení pro zpracování zemního plynu podle nároku 12, **vyznačující se tím**, že doplňovací vedení (21) chladicího média je na okruh (12) chladicího média napojeno v nejméně jednom zařízení (25) pro expanzi chladicího média.
- 10 14. Zařízení pro zpracování zemního plynu podle některého z nároků 12 a 13, **vyznačující se tím**, že doplňovací vedení (21) chladicího média nejprve prochází přes výměník (30) zkapaňovače (11).
- 15 15. Zařízení pro zpracování zemního plynu podle některého z nároků 2 až 14, **vyznačující se tím**, že expanzní turbína (4), uspořádaná v bloku (2) pro redukci tlaku protékajícího zemního plynu, je hřídelí (22) spojena se sekundárním kompresorem (19), uspořádaným v zkapaňovacím bloku (1).
- 20 16. Zařízení pro zpracování zemního plynu podle některého z předchozích nároků, **vyznačující se tím**, že dále obsahuje nejméně jeden další nezávislý blok (3) pro redukci tlaku protékajícího zemního plynu.
- 25 17. Zařízení pro zpracování zemního plynu podle některého z předchozích nároků, **vyznačující se tím**, že chladicím médiem je dusík.

2 výkresy

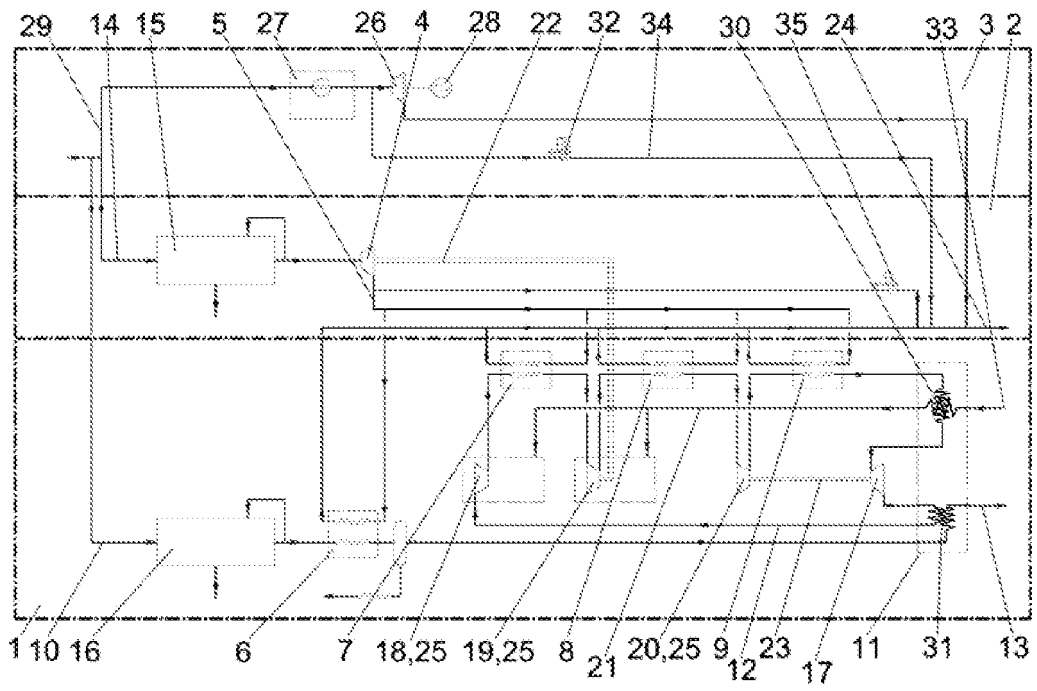
Seznam vztahových značek

- 1 zkapaňovací blok
- 2 blok pro redukci tlaku protékajícího zemního plynu
- 3 blok pro redukci tlaku protékajícího zemního plynu
- 4 expanzní turbína
- 5 první výstup tlakově redukováného plynu
- 6 tepelný výměník I
- 7 tepelný výměník II
- 8 tepelný výměník III
- 9 tepelný výměník IV
- 10 přívod zemního plynu I
- 11 zkapaňovač
- 12 okruh chladicího média
- 13 výstup zkapaňovaného plynu
- 14 přívod zemního plynu II
- 15 zařízení pro odstraňování vody ze zemního plynu
- 16 čistící zařízení zemního plynu
- 17 expanzní turbína chladicího média
- 18 recyklační kompresor
- 19 sekundární kompresor
- 20 posilovací kompresor
- 21 doplňovací vedení
- 22 hřídel I
- 23 hřídel II
- 24 nízkotlaký výstup zemního plynu
- 25 zařízení pro kompresi chladicího média
- 26 první expanzní turbína
- 27 přehřívák

- 28 elektrický generátor
- 29 přívod zemního plynu III
- 30 výměník
- 31 zkapalňovací výměník
- 32 škrťací ventil I
- 33 přívod kapalného dusíku
- 34 druhý výstup
- 35 škrťací ventil II



Obr. 1



Obr. 2