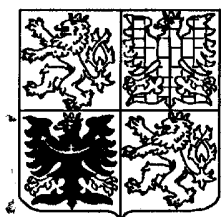


ČESKÁ
REPUBLIKA

(19)



ÚŘAD
PRŮMYSLVÉHO
VLASTNICTVÍ

ZVEŘEJNĚNÁ PŘIHLÁŠKA VYNÁLEZU

(12)

(21) 1675-94

(13) A3

5(51)

F 25 J 3/04

F 01 D 15/10

(22) 12.07.94

(32) 16.07.93

(31) 93/093195

(33) US

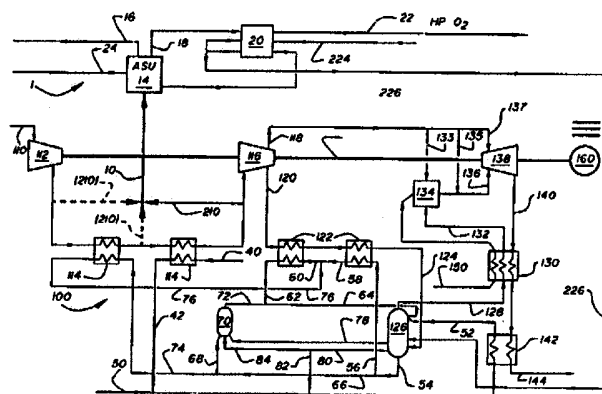
(40) 18.01.95

(71) AIR PRODUCTS AND CHEMICALS, INC., Allentown, PV, US;

(72) Scharpf Eric William, Emmaus, PV, US;
Smith Arthur Ramsden, Telford, PV, US;

(54) Způsob výroby elektrické energie propojením
separace vzduchu a plynové turbíny

(57) V kryogenické separační jednotce je stlačený vzduch destilován na kyslíkový produkt a odpadní dusíkový produkt, kde alespoň část kyslíkového produktu je stlačená a reaguje s uhlíkatým palivem v zplynovači nebo jednotce částečné oxidace za vzniku syntetického plynu (paliva), který obsahuje oxid uhelnatý a vodík, kde je napájecí vzduch stlačen v kompresoru (112) a následně nasycen, syntetický plyn je spalován s tímto nasyceným vzduchem ve spalovači (134) za vzniku spalín, které procházejí přes přechodový díl a pak expandují v plynové turbíně. Alespoň část vytvořené práce je použita pro pohon kompresoru (112) a alespoň další část vytvořené práce se použije na výrobu elektřiny. Zlepšení spočívá v tom, že alespoň část stlačeného vzduchu, dodávaná do separační jednotky (1), je částí stlačeného, plynovou turbínu napájecího vzduchu, odebranou z kompresoru (112), plynové turbíny a v tom, že alespoň část kompresního tepla kyslíkového produktu se použije na ohřívání vody pro nasycení stlačeného vzduchu napájecího plynovou turbínu. Zlepšení může dále spočívat v přivádění alespoň odpadního dusíkového produktu do středního stupně kompresoru (112) vzduchu napájecího plynovou turbínu, nebo ve vstřikování odpadního produktu jakožto regulovatelného inertního chladiva, ředidel nebo jako průtočné množství zvětšující složky do alespoň jedné části zařízení vybrané ze skupiny obsahující spalovač (134), přechodový díl a plynovou turbínu, nebo v použití alespoň části tepla obsaženého v části stlačeného vzduchu odebrané z kompresoru (112) plynové turbíny a přiváděné do kryogenické separační jednotky (1) pro ohřívání části kyslíkového produktu, který je veden do zplynovače nebo do jednotky částečné oxidace.



Způsob výroby elektrické energie propojením separace vzduchu a plynové turbíny.

Oblast techniky

č.j.	037171
DOŠLO	12. VII. 94
URAD PRŮMYŠLOVÉHO VLASTNICTVÍ	PŘÍL.

Tento vynález se vztahuje na způsob propojení kryogenické separační jednotky vzduchu s jednotkou pro výrobu elektrické energie, který používá integrovanou zplynovací vlhkovzdušnou turbínu nebo integrovaný kombinovaný zplynovací cyklus. Vynález se vztahuje zejména na propojení, které snižuje kapitálové náklady na zařízení, zvyšuje výkon a/nebo zvyšuje účinnost při stálém výkonu a zlepšuje provozní pružnost takového způsobu výroby elektrické energie.

Dosavadní stav techniky

Pro účely popisu tohoto vynálezu je okruh vlhkovzdušné turbíny definován jako okruh spalovací turbíny vyrábějící energii, kde odpadní teplo z výstupu expandéru a/nebo z jakéhokoliv mezistupňového chladiče a dochlazovače kompresoru okysličovadla je použito pro nasycení vodou a přehřívání proudu okysličovadla před tím, než je toto přivedeno do spalovače.

Znamé technologie vztahující se ke způsobům výroby energie za použití integrované zplynovací vlhkovzdušné turbíny a integrovaného kombinovaného zplynovacího cyklu jsou popsány v mnohé vědecké a patentové literatuře.

Znamý stav techniky uvádí obecný princip přivádění části stlačeného vzduchu, odebraného ze vzduchového kompresoru plynové turbíny, do separační jednotky vzduchu. Patent US 3731495 popisuje způsob, v němž je vzduch

přiváděný do separační jednotky vzduchu získáván z výstupu vzduchu kompresoru plynové turbíny při zvýšeném tlaku, který je pro napájení separační jednotky ochlazen a dále stlačen na tlak mezi 1034 až 2758 kPa. Podobně patent US 4224045 popisuje způsob, v němž se část nebo veškerý stlačený vzduch, přiváděný do separační jednotky vzduchu, získává z výstupu kompresoru plynové turbíny, který má zvýšený tlak a který je možno chladit a expandovat nebo stlačit tak, aby se zajistil přívod do separační jednotky vzduchu při tlaku větším než 586 kPa. Další literatura popisuje odvádění vzduchu o podobně zvýšeném tlaku z výstupu kompresoru plynové turbíny do různých separačních jednotek. Tato literatura zahrnuje patent US 5081845 a patentovou přihlášku US 8.07/837786. Patent US 4631914 popisuje odebírání vzduchu o středním tlaku ze středního stupně kompresoru plynové turbíny spalovací soustavy pro výrobu energie. Odebraný vzduch je přiváděn do středního stupně expanzní turbíny pro výrobu energie a nezahrnuje žádné propojení se soustavou separace vzduchu.

Stav techniky dále popisuje obecnou koncepci navracení odpadního dusíku o středním tlaku z přidružené separační jednotky vzduchu do vzduchového kompresoru plynové turbíny. Patenty GB 2067668 a US 4297842 popisují způsob, který používá odpadní dusík ze separační jednotky vzduchu o atmosférickém tlaku pro ředění okysličovacího vzduchu, přiváděného do kompresoru plynové turbíny, za účelem snížení tvorby NOx ve spalovači plynové turbíny.

Stav techniky, vztahující se na vlhkovzdušné turbíny a vlhkovzdušné turbíně podobné cykly, popisuje pohonnou jednotku na níž je tento vynález zejména aplikovatelný. Patent US 5181376 popisuje způsob, který užívá sytič okysličovacího vzduchu pro výrobu vlhkého vzduchu jak pro primární turbínu, tak i pro oddělený expandér vlhkého vzduchu nebo přídatnou turbínu. Patenty US 4829763 a GB

2153912 popisují cyklus vlhkovzdušné turbíny, kde je kompresní teplo okysličovadla rekuperováno v mezistupňovém chladiči a v dochlazovači, které jsou spojeny se vzduchovým kompresorem plynové turbíny. Patenty US 4653268 a US 4537023 rovněž popisují způsoby, kde kompresní teplo je v mezistupňovém chladiči a dochlazovači rekuperováno vodou před tím, než je tato voda vedena do sytiče okysličovacího vzduchu, kde se vytváří vlhký vzduch pro turbínu.

Ve stavu techniky jsou dále popsány obecné principy vztahující se k chlazení spalovače plynové turbíny, přechodového dílu a expandéru i ke vstřikování odpadního dusíku ze separační jednotky vzduchu do spalovače.

Následující známý stav techniky popisuje užití odpadního dusíku ze separační jednotky vzduchu ve spalovači plynové turbíny. Patent US 5081845 uvádí "odebírání dusíkového plynu ze separační jednotky vzduchu a zvýšení tlaku alespoň částo tohoto dusíkového plynu na tlak v podstatě shodný s tlakem proudu paliva, přiváděného do plynové turbíny mezi výstup kompresoru (plynové turbíny) a vstup expandéru". Patent US 4962646 (Rathbone) popisuje soustavu, kde "proud dusíku z vysokotlaké destilační kolony (separační jednotky vzduchu) je přiváděn do jedné ze spalovacích komor a do spalin v oblasti po směru proudění turbíny". Patent US 4707994 popisuje použití "dusíkového produktu (ze separační jednotky vzduchu) jako druhotného chladicího plynu pro chlazení spalovače". Patent US 4557735 uvádí "vedení odpadního dusíku do zóny spalování" a "vedení odpadního dusíku do spalin před expanzí v plynové turbíně". Patent US 4019314 uvádí "zlepšení, které zahrnuje přimíchávání dusíkového produktu, vzniklého během separace vzduchu, do kouřových plynů (výfukového proudu spalovače) před jejich expanzí", "přimíchávání dusíku do kouřových plynů mezi...dvěma stupni expanze" a "expanzi kouřových plynů v prvním stupni expanze na tlak dusíku opouštějícího zařízení pro separaci vzduchu". Další literatura popisující

podobné použití odpadního dusíku zahrnuje patenty US 5080703, US 5036672, US 4697415 a US 4697413.

Nejbližší stav techniky, popisující propojení odpadního dusíku ze separační jednotky vzduchu s horkými spaliny před expanzí, představují patenty US 4224045 a US 3731495. Patent US 4224045 popisuje "stlačování alespoň části na dusík bohatého plynu ...na tlak alespoň shodný s tlakem zážehu a proudění stlačeného na dusík bohatého proudu do spalovacího proudu ve směru proti proudu uvedené hnací turbíny (expandéru plynové turbíny)" a " vstřikování alespoň části uvedeného stlačeného, na dusík bohatého, proudu do spalovacího proudu po jeho zážehu". Patent US 3731495 uvádí ohřívání odpadního dusíku ze separační jednotky vzduchu "vhodným opláštěním kovu (spalovací komory) na dusík bohatým chladicím plynem, kde teplota dusíkem obohaceného plynu, který vstupuje do expandéru může dosahovat 900 C" a "vstřikování relativně chladného, na dusík bohatého, plynu do uvedených horkých spalin v oddělené chladicí zóně za vytváření směsi dusíkem obohaceného plynu o střední teplotě a přetlaku".

Dále uvedený stav techniky se vztahuje na chlazení spalovací plynové turbíny, přechodového dílu a expandéru. Je nutno uvést, že nejjednodušší běžný způsob chlazení expandéru plynové turbíny, který je běžně používán odvádí část stlačeného vzduchu ze vzduchového kompresoru plynové turbíny do spalovače, přechodového dílu a několika prvních stupňů expandéru plynové turbíny jako průtokového chladiwa soustavy. Patent US 5160096 popisuje okruh vlhkovzdušné turbíny, kde je vlhký vzduch užít jako průtokové chladiwo pro první lopatky expandéru plynové turbíny, zatímco stlačený vzduch před zvlhčováním je před smísením s horkými spaliny užít jako průtokové chladiwo lopatek prvního stupně rotoru. Patent US 5095693 uvádí odvádění bočního proudu vzduchu z výstupu kompresoru plynové turbíny,

odebírání jeho určité tepelné energie nepřímou tepelnou výměnnou s proudem paliva a jeho následné použití jako chladiva pro expandér plynové turbíny. Patent US 4571935 popisuje odebírání páry z vysokotlaké parní turbíny (obvykle spojené s provozem kombinovaného cyklu) pro chlazení vnějšího pláště a pevných lopatek expandéru. Patent US 4571935 popisuje rovněž spouštění systému a výhody nezávislé regulace proudu chladiva plynové turbíny. Patent US 4338780 uvádí vstřikování vody do některého z výstupů kompresoru plynové turbíny pro přípravu průtokového chladiva pohybujících se lopatek expandéru plynové turbíny. Patent US 4314442 popisuje parní chlazení expandéru s tenkou vrstvou tepelně izolující páry, která v průtokovém uspořádání chrání pevné lopatky expandéru a rotující lopatky. Patent US 3973396 popisuje použití expandéru s Hilschovou trubicí pro chlazení části výstupu ze vzduchového kompresoru plynové turbíny před použitím ejektoru pro přívod tohoto plynu do hlavního proudu chladicího vzduchu, čímž se sníží průměrná teplota a připraví se dokonale průtokové chladivo. Patent US 3783614 popisuje pečlivě uzavřený okruh chladicí soustavy expandéru plynové turbíny, který používá fluoruhlíkové chladivo.

Zpráva EPRI EI-7300 o názvu "Srovnání elektráren s cyklem vlhkovzdušné turbíny a s cyklem kombinovaným" (březen 1991), kterou připravil A.D.Rao a kol., popisuje užití kompresního tepla, získaného z chladiče samostatné separační jednotky vzduchu, pro ohřívání vody určené k sycení proudu okysličovadla, přiváděného do spalovače plynové turbíny.

Podstata vynálezu

Tento vynález se vztahuje na zlepšení způsobu výroby elektrické energie, kde v kryogenické separační jednotce vzduchu je stlačený vzduch destilován na kyslíkový produkt a

odpadní dusíkový produkt, kde alespoň část tohoto kyslíkového produktu je stlačena a reaguje s uhlíkatým palivem ve zplynovači nebo v jednotce částečné oxidace za vzniku syntetického plynu (paliva), obsahujícího oxid uhelnatý a vodík, kde napájecí vzduch je stlačen ve vzduchovém kompresoru plynové turbíny a následně alespoň částečně nasycen, kde je syntetický plyn spalován s tímto nasyceným, stlačeným, plynovou turbínu napájejícím, vzduchem ve spalovači za vzniku spalin, které procházejí přes přechodový díl a pak expandují v turbíně a produkují energii, kde alespoň část takto vytvořené energie je použita na pohon vzduchového kompresoru plynové turbíny a kde alespoň další část takto vytvořené práce je použita na výrobu elektřiny.

Zlepšení spočívá v tom, že alespoň část stlačeného vzduchu, přiváděného do kryogenické separační jednotky vzduchu, je částí stlačeného vzduchu napájejícího plynovou turbínu, odebranou ze vzduchového kompresoru plynové turbíny, a v tom, že alespoň část kompresního tepla kyslíkového produktu se použije na ohřívání vody určené pro nasycení stlačeného vzduchu napájejícího plynovou turbínu.

Zlepšení může dále spočívat v tom, že alespoň část odpadního dusíkového produktu je přiváděna do středního stupně kompresoru vzduchu napájejícího plynovou turbínu nebo v tom, že alespoň část odpadního dusíkového produktu je vstřikována jako regulovatelné inertní plynné chladiivo, ředidlo nebo jako průtočné množství zvětšující složka do alespoň jedné části zařízení vybrané ze skupiny obsahující spalovač, přechodový díl a plynovou turbínu nebo v tom, že se použije alespoň část tepla, obsaženého v části stlačeného vzduchu napájejícího plynovou turbínu odebrané ze vzduchového kompresoru napájecího vzduchem plynovou turbínu a která je vedena do kryogenické separační jednotky vzduchu

pro ohřívání části kyslíkového produktu, který je přiváděn do zlynovače nebo do jednotky částečné oxidace.

Výhodné rovněž je, když z kompresoru vzduchu napájecího plynovou turbínu odebraná část napájecího vzduchu může být dále stlačena ve vzduchovém kompresoru separační jednotky před tím, než je přivedena do této separační jednotky vzduchu k destilaci a kompresní teplo, vzniklé tímto dalším stlačením, je použito pro ohřívání vody určené pro sycení vzduchu napájecího plynovou turbínu.

Přehled obrázků na výkrese

Obr.1 představuje schematický diagram neintegrovanného způsobu podle stávajícího stavu techniky.

Obr.2 až 8 jsou schematické diagramy několika provedení způsobu podle tohoto vynálezu.

Příklady provedení vynálezu

Způsob podle vynálezu zahrnuje různé kombinace několika zlepšení v propojení mezi separační jednotkou vzduchu a zplynovací vlhkovzdušnou turbínou nebo zplynovacím kombinovaným cyklem elektrárny. První zlepšení zahrnuje přivádění alespoň části stlačeného napájecího vzduchu do separační jednotky vzduchu a to odebráním části stlačeného vzduchu ze střední části nebo z části mezistupňového chlazení vzduchového kompresoru plynové turbíny. Druhé zlepšení zahrnuje navracení odpadního dusíku ze separační jednotky vzduchu na vstup vysokotlaké sekce vzduchového kompresoru plynové turbíny. Třetí zlepšení zahrnuje navracení odpadního dusíku ze separační jednotky vzduchu do spalovací komory, přechodového dílu a/nebo do expandéru, jakožto regulovatelného inertního chladiwa, ředidla nebo

jako složky zvětšující průtočné množství plynové turbíny. Čtvrté zlepšení zahrnuje přivádění alespoň části kompresního tepla ze vzduchu napájejícího propojenou separační jednotku do přívodu vysokotlakého kyslíku vedeného do zplynovače. Páté zlepšení zahrnuje použití části kompresního tepla z kyslíkového produktu, navraceného dusíku nebo jakékoliv přídavné separační jednotky vzduchu pro ohřívání vody určené k sycení okysličovacího vzduchu nebo proudů paliva, přiváděných do spalovače plynové turbíny. Volba nejvhodnější kombinace jednotlivých zlepšení závisí na zvláštnostech každé integrované zplynovací elektrárny. Následujících pět provedení vynálezu představuje některé z nejvýhodnějších kombinací těchto zlepšení pro integrované zplynovací elektrárny typu, který bude v budoucnu nejpravděpodobněji konstruován.

Obr.1 zobrazuje známou integrovanou zplynovací vlhkovzdušnou elektrárnu se samostatnou separační jednotkou vzduchu.

Na obr.1 je zobrazena separační jednotka 1 vzduchu a integrovaný cyklus 100 vzduchové turbíny. Jak bylo uvedeno výše, separační jednotka 1 vzduchu a integrovaný cyklus 100 turbíny nejsou navzájem spojeny, t.j. mají samostatné funkce.

V separační jednotce 1 vzduchu podle obr.1 je napájecí vzduch vedený potrubím 10 stlačen v kompresoru 12. Tento stlačený vzduch je čistěn od nečistot jako jsou voda, oxid uhličitý a uhlovodíky a pak je přiváděn do kryogenické destilační kolony 14, která produkuje alespoň jeden kyslíkový produkt a jeden dusíkový produkt. Tato kryogenická destilační kolona může být jakéhokoliv typu, jednoduchá nebo několikanásobná, pracující s normálním nebo se zvýšeným tlakem. Dále může tato kryogenická destilační kolona produkovat argonový produkt. Při tomto použití je dusíkový produkt odstraněn potrubím 16 a odveden jako odpad.

Kyslíkový produkt je odváděn potrubím 18 a v kompresoru 20 stlačován na tlak požadovaný pro použití ve zplynovači. Pro odvádění kompresního tepla je do mezistupňových chladičů nebo do dochlazovačů stlačeného vzduchu kompresoru 20 přiváděna potrubím 24 voda. Horká chladicí voda je pak odváděna potrubím 26.

V integrovaném cyklu 100 vzduchové turbíny je napájecí vzduch přicházející potrubím 110 stlačován v nízkotlakém kompresoru 112, ochlazován v mezistupňovém chladiči (chladičích) 114, dále stlačován ve vysokotlakém kompresoru 116 a rozdělen na dvě části. První část stlačeného vzduchu proudí do potrubí 120 a druhá část stlačeného vzduchu do potrubí 118. První část stlačeného vzduchu z potrubí 120 je chlazena v dochlazovači (dochlazovačích) 122 a pak v sytiči 126 nasycena vodou. Nasycená stlačená první část napájecího vzduchu v potrubí 128 je dále ohřívána v rekuperátoru 130. Tato ohřátá stlačená a nasycená první část napájecího vzduchu v potrubí 132 je následně spalována ve spalovači 134 spolu s tekutým palivem, přivedeným potrubím 150, které je také ohříváno v rekuperátoru 130. Produkt spalování v potrubí 136 expanduje v expandéru 138 za vzniku mechanické práce, která je zpětně použita pro pohon kompresorů 112 a 116 a pro výrobu elektřiny za použití generátoru 160. Druhá část stlačeného vzduchu v potrubí 118 je použita pro chlazení turbíny. Tento vzduch pro chlazení turbíny může být přiváděn do různých vstupních míst např. potrubím 133 do spalovače 134, potrubím 135 do přechodového dílu, potrubím 137 do expandéru nebo může být použita jakákoliv jejich kombinaci. Výfukový plyn z expandéru 138 proudí potrubím 140 do rekuperátoru 130 a ekonomizéru (tepelného výměníku) 142, kde je chlazen před tím, než je jako spalina odveden potrubím 144.

Dále, pokud se týká integrovaného cyklu 100 turbíny, je potrubím 40 do posledního z mezistupňových chladičů 114

přiváděna přídatná voda, která je pak mísená s vodou z odvzdušňovače zplynovače, jež je vedena potrubím 50. Tento smísený proud vody je ohříván v ekonomizéru 142 před tím, než je přiveden do horní oblasti sytiče 126. V sytiči 126 je horká voda přiváděna do styku se suchým vzduchem z potrubí 124, čímž vzniká nasycený vzduch pro další použití ve spalovači, kam je odváděn potrubím 128. Část přebytečné vody ze sytiče 126 je použita k rekuperaci kompresního tepla z proudu stlačeného napájecího vzduchu procházejícího potrubím 110. Toto kompresní teplo je rekuperováno prostředky mezistupňového chladiče (chladičů) 114 a dochlazovače (dochlazovačů) 122. Veškeré přídatné teplo nutné pro nasycení suchého stlačeného vzduchu z potrubí 124 je vytvářeno v ohříváči 70 vody na zplynované uhlí. Jak bylo uvedeno, je voda odvedená ze dna sytiče 126 potrubím 54 rozdělena do tří proudů. První proud je potrubím 56 veden do druhého dochlazovače 122 a zde je ohříván. Druhý proud je potrubím 74 veden do prvního mezistupňového chladiče (chladičů) 114, je zde ohříván a pak veden potrubím 76 a následně smíchan s horkou vodou z druhého dochlazovače 122 proudící v potrubí 58. Proud smísené horké vody je potrubím 60 veden do prvního dochlazovače (dochlazovačů) 122 a zde ohříván. Třetí proud v potrubí 68 je současně s alespoň částmi středních proudů vody v potrubích 78 a 80 ohříván v ohříváči 70. Ohřátá voda v potrubí 72 je smísená s ohřátou vodou v potrubí 62 a potrubím 64 přiváděna do horní oblasti sytiče 126. Nakonec část spodního středního proudu vody v potrubí 80 je přes potrubí 82 smísená s vodou z potrubí 50 přicházející z odvzdušňovače zplynovače.

Obr.2 zobrazuje jedno provedení vynálezu využívající koncepci odebírání části nebo veškerého stlačeného vzduchu napájecího nízkotlakou separační jednotku vzduchu ze sekce mezistupňového chlazení vzduchového kompresoru plynové turbíny a navrácení části odpadního tepla, vzniklého stlačováním kyslíkového produktu do sytiče. Na obr.2 je

potrubím 210 odebírána část stlačeného vzduchu opouštějícího kompresor 112. Tato část může být odváděna z jedné ze tří lokalit - před vstupem do mezistupňového chladiče (chladičů) 114, z těchto chladičů 114 a za chladiči 114. Výhodnou polohou, zobrazenou na obr.2 plnou čarou, je místo za mezistupňovým chladičem (chladiči) 114. Skutečné umístění by bylo takové, které by optimalizovalo integraci dané soustavy.

Demineralizovaná přídavná voda, která je vedena potrubími 24 a 224 je ohřívána tepelnou výměnou mezi různými proudy ze separační jednotky 1 vzduchu včetně proudu stlačeného kyslíku, přiváděného potrubím 22, tedy mezistupňové chlazení a případně i dochlazování odebírá kompresní teplo proudu. Ohřátá přídavná voda je potrubím 226 přiváděna do sytiče 126 jako část vody pro zvlhčování vzduchu. Možná jsou i jiná místa napojení horké vody ze separační jednotky 1 vzduchu, skutečné umístění tohoto napojení je pak takové, že integrace soustavy je optimální. Ostatní části zobrazené na obr.2 nejsou oproti obr.1 změněny. Pro podobné proudy a provozní zařízení, které jsou na obrázcích zobrazeny se používá stejných vztahových značek.

Je zřejmé, jak zobrazuje obr.2, že veškerý stlačený vzduch přiváděný do nízkotlaké separační jednotky vzduchu je odebírán ze sekce mezistupňového chlazení vzduchového kompresoru plynové turbíny, ale možné je také přivádět jen část stlačeného vzduchu do separační jednotky z tohoto zdroje tak, aby to odpovídalo možnostem zatížení plynové turbíny. Výhodné je, když proud propojovacího vzduchu v potrubí 210 má tlak v rozmezí 345 až 1035 kPa a teplotu přibližně kolem teploty přiváděné přídavné nebo chladicí vody.

Obr.2 zobrazuje, že chlazení veškerého kyslíkového produktu při stlačování je uskutečňováno demineralizovanou přídavnou vodou směřovanou do sytiče 126. V případech, kdy je požadována nadměrná výhřevnost přídavné vody je možno do dražší demineralizované přídavné vody směřovat pouze část kompresního tepla kyslíkového produktu a zbytek tohoto tepla odvádět normální chladicí vodou. Jednou možností může být toto propojení horké vody nasměřovat do ekonomizéru 142 nebo do ohřívače 70 vody na zplyňované uhlí pro její další ohřátí před vstupem do sytiče vzduchu.

Další uspořádání tohoto provedení vynálezu je zobrazeno na obr.3. V tomto provedení je zobrazen dodatečný výměník 212 tepla mezi proudem propojovacího vzduchu v potrubí 210 a vysokotlakým kyslíkem přiváděným do zplynovače potrubím 22. Tato varianta používá myšlenku přenosu určitého kompresního tepla propojovacího proudu vzduchu, přiváděného do separační jednotky vzduchu, do vysokotlakého kyslíku vedeného do zplynovače. Proud propojovacího vzduchu v potrubí 210 může být odebírán v jakémkoliv místě střední sekce nebo sekce mezistupňového chlazení vzduchového kompresoru plynové turbíny (na obrázku zobrazeno čárkovaně) tak, aby se optimalizovalo chlazení a ohřívání v soustavě.

Obr.4 zobrazuje druhé provedení vynálezu, které opět využívá myšlenku odebírání části nebo veškerého, na nízký tlak stlačeného, vzduchu napájejícího nízkotlakou separační jednotku vzduchu ze sekce mezistupňového chlazení vzduchového kompresoru plynové turbíny a navrácení odpadního kompresního tepla kyslíkového produktu do sytiče okysličovadla. Oproti soustavám zobrazeným na obr.2 a 3 toto provedení používá okruh kapalného kyslíku, který vyžaduje, aby část přívodu do separační jednotky vzduchu měla tlak vyšší než asi 690 kPa.

Obr.4 ukazuje, že veškerý vzduch pro napájení separační jednotky 1 vzduchu, stlačený na nižší tlak, je odebírán potrubím 210 z mezistupňového chladiče kompresoru plynové turbíny a všechny napájecí vzduch separační jednotky s vyšším tlakem je odebírán potrubím 310 z výstupu dochlazovače (dochlazovačů) 122. Důležité je uvědomit si, že je rovněž možné přivádět pouze část stlačeného vzduchu do separační jednotky z těchto zdrojů tak, aby to nejlépe odpovídalo možnostem zatížení plynové turbíny. Výhodné je, když proud nízkotlakého propojovacího vzduchu v potrubí 210 má tlak v rozmezí 345 až 1035 kPa a teplotu pohybující se kolem teploty přiváděné přídavné nebo chladicí vody. Jako v případě prvního provedení je možno proud nízkotlakého propojovacího vzduchu odebírat v jakémkoliv místě střední sekce nebo sekce mezistupňového chlazení vzduchového kompresoru plynové turbíny (na obrázku vyznačeno čárkovanými čarami) tak, aby se optimalizovalo mezistupňové chlazení soustavy. Výhodné je, když proud vysokotlakého propojovacího vzduchu v potrubí 310 má tlak vyšší než asi 690 kPa a teplotu pohybující se kolem teploty přiváděné přídavné nebo chladicí vody. Podobně je u tohoto provedení možné odebírat proud vysokotlakého propojovacího vzduchu v jakémkoliv místě dochlazovací sekce vzduchového kompresoru plynové turbíny (na obrázku vyznačeno čárkovanými čarami) tak, aby se optimalizovalo dochlazování v soustavě. Rovněž je možné chladič 312 napájecí vody, napojený na vysokotlaký propojovací vzduch, přesunout po směru proudění k expandéru 314 nebo jej zcela odstranit tak, aby se optimálně podle požadavku vytvářela dodatečná energie nebo aby se zajistilo větší chlazení vysokotlakého proudu propojovacího vzduchu. Požadavky na expandér 314 jsou určeny optimálními tlaky zvolenými pro stlačený vzduch v potrubí 120, který napájí plynovou turbínu a pro vzduch v potrubí 316, který napájí separační jednotku vzduchu.

Obr.4 také ukazuje, že chlazení stlačeného kyslíkového produktu je uskutečňováno demineralizovanou přídatnou vodou, která je pak směřována do sytiče 126. V případech, kdy je potřebná zvýšená výhřevnost přídatné vody, je možno do dražší demineralizované přídatné vody směřovat pouze část kompresního tepla kyslíkového produktu a zbytek tohoto tepla odvádět pomocí normální chladicí vody. V jedné z možností může být toto propojení horké vody nasměřováno do ekonomizéru 142 nebo do ohříváče 70 vody na zplynované uhlí pro její další ohřev před vstupem do sytiče 126.

Obr.4 zobrazuje dvě odlišné tlakové úrovně vzduchu pro napájení separační jednotky vzduchu. Pokročilejší kryogenické separační cykly by vyžadovaly pro optimální propojení tři nebo více tlakových úrovní.

Jiné uspořádání tohoto druhého provedení vynálezu je zobrazeno na obr.5. Podobně jako obr.3 zobrazuje obr.5 dodatečný výměník 311 tepla mezi vysokotlakým propojovacím proudem vzduchu a proudem vysokotlakého kyslíku vedeného do zplynovače. Tato varianta využívá myšlenku přenosu kompresního tepla vzduchu přiváděného do separační jednotky vzduchu a vysokotlakého kyslíku vedeného do zplynovače.

Obr.6 zobrazuje třetí provedení vynálezu využívající myšlenku odebírání části nebo veškerého stlačeného vzduchu pro napájení separační jednotky pracující se zvýšeným tlakem ze sekce mezistupňového chlazení vzduchového kompresoru plynové turbíny, navrácení části nebo veškerého odpadního dusíku ze separační jednotky vzduchu na vstup vysokotlaké sekce vzduchového kompresoru plynové turbíny a navrácení odpadního tepla vzniklého stlačováním kyslíkového produktu a přídatným stlačováním vzduchu pro separační jednotku do sytiče okysličovadla. Oproti soustavám zobrazeným na obr.2 až 5, separační jednotka 1 vzduchu u tohoto provedení používá okruh se zvýšeným tlakem, který může vyžadovat vyšší

tlak vzduchu přiváděného do separační jednotky než je tlak v sekci mezistupňového chlazení.

Podle obr.6 je vyšší tlak napájecího vzduchu zajištěn pomocí dalšího stlačení proudu propojovacího vzduchu, přicházejícího ze sekce mezistupňového chlazení turbíny potrubím 410, v předřazeném kompresoru 412. Ačkoliv obrázek ukazuje, že všechny vzduch napájející separační jednotku je odebírán z mezistupňového chladiče kompresoru plynové turbíny, je možné, aby se pouze část tohoto napájecího vzduchu separační jednotky, která nejlépe odpovídá zatížení kompresoru plynové turbíny, přiváděla z tohoto zdroje. Jako v případě prvního a druhého provedení vynálezu je možno odebírat proud nízkotlakého propojovacího vzduchu v kterémkoliv místě střední sekce nebo sekce mezistupňového chlazení vzduchového kompresoru plynové turbíny tak, aby se optimalizovala soustava chlazení. Obr.6 ukazuje, že veškerý odpadní dusík v potrubí 16 se ze separační jednotky vzduchu vrací do sekce mezistupňového chlazení kompresoru plynové turbíny. Možné je také vracet pouze takovou část odpadního dusíku ze separační jednotky do kompresoru plynové turbíny, která odpovídá zatížení plynové turbíny. Je třeba poznamenat, že výhodným je navracení dusíku do primárně stlačeného proudu vzduchu v místě směrem po proudění od místa odběru proudu nízkotlakého propojovacího vzduchu tak, aby se udržela koncentrace kyslíku ve vzduchu, který napájí separační jednotku vzduchu. Výhodně má proud navraceného odpadního dusíku v potrubí 16 tlak a teplotu shodnou s tlakem a teplotou proudu opouštějícího poslední mezistupňový chladič plynové turbíny.

Navíc obr.6 ukazuje, že chlazení stlačovaného kyslíkového produktu a dochlazování vzduchu procházejícího předřazeným kompresorem 412 je prováděno demineralizovanou přídavnou vodou, která je pak vedena do sytiče 126. V případech, kdy je potřebná zvýšená výhřevnost přídavné vody

je možno do dražší demineralizované přídavné vody odvádět pouze část kompresního tepla kyslíkového produktu a zbytek tohoto tepla odvádět pomocí normální chladicí vody. U jedné možností může být propojení horké vody směřováno do ekonomizéru nebo do ohřívací soustavy vody na zplynované uhlí pro další ohřátí této vody před jejím vstupem do sytiče okysličovadla.

Stejně jako u předchozích provedení obsahuje jedna varianta tohoto třetího provedení princip přenosu kompresního tepla vzduchu, který napájí separační jednotku vzduchu do vysokotlakého kyslíku, který je přiváděn do zplynovače. U tohoto provedení by tato varianta mohla výhodně používat přídavný tepelný výměník kyslíku (na obrázku nezobrazen) umístěný ve směru proudění od jakéhokoliv přídavného kompresoru proudu propojovacího vzduchu nebo směrem proti proudu od přídavného kompresoru v případě, že proud propojovacího vzduchu je odebírán ze sekce před mezistupňovým chlazením.

Obr.7 zobrazuje čtvrté provedení vynálezu využívající myšlenku navracení části nebo veškerého odpadního dusíku ze separační jednotky vzduchu do spalovače, přechodového dílu a/nebo expandéru plynové turbíny jakožto regulovatelného inertního chladiwa a navracení odpadního tepla ze stlačování kyslíkového produktu do sytiče okysličovacího vzduchu. Toto provedení také užívá technologie odebírání části nebo veškerého stlačeného vzduchu pro napájení separační jednotky pracující se zvýšeným tlakem z výstupu vysokotlaké sekce vzduchového kompresoru plynové turbíny. Podobně jako soustava na obr.6 používá separační jednotka 1 vzduchu okruh se zvýšeným tlakem. V závislosti na konstrukci vzduchového kompresoru plynové turbíny může separační jednotka potřebovat napájení vzduchem o tlaku nižším než je výstupní tlak kompresoru 116 plynové turbíny.

V případě potřeby je tento proud napájecího vzduchu o sníženém tlaku získán expanzí v expandéru 34 proudu propojovacího vzduchu vedeného potrubím 510 z dochlazovací sekce plynové turbíny. Obr.7 zobrazuje případ, kdy všechny tento stlačený, separační jednotku vzduchu napájející vzduch je odebírán z dochlazovače kompresoru plynové turbíny. Nicméně možné je rovněž přivádět pouze část tohoto stlačeného vzduchu napájecího separační jednotku vzduchu z tohoto zdroje. Stejně jako v případě druhého provedení vynálezu je možno odebírat proud vysokotlakého propojovacího vzduchu v jakémkoliv místě dochlazovací sekce vzduchového kompresoru plynové turbíny (na obrázku zobrazeno přerušovanými čarami) tak, aby dochlazování soustavy bylo optimální. Možné je rovněž přemístit chladič napájecí vody napojený na proud vysokotlakého napájecího vzduchu směrem proti proudu k expandéru nebo ho zcela odstranit tak, aby podle potřeby optimálně vznikala přídatná energie nebo aby se zajistilo větší chlazení proudu vysokotlakého propojovacího vzduchu.

Jak je zobrazeno na obr.8 je dále možné použít myšlenku odebírání stlačeného napájecího vzduchu ze střední sekce nebo sekce mezistupňového chlazení kompresoru plynové turbíny s jeho dalším stlačením prováděným kompresorem 412 aby se dosáhlo lepšího propojení separační jednotky vzduchu s ohledem na možnosti zatížení plynové turbíny. Výhodné je když je stav propojovacího proudu vzduchu stejný jako byl popsán u třetího provedení. Podobně jako u tohoto provedení je možné odebírat proud nízkotlakého propojovacího vzduchu v jakémkoliv místě střední sekce nebo sekce mezistupňového chlazení vzduchového kompresoru plynové turbíny (na obrázku vyznačeno čárkovanými čarami) tak, aby se mezistupňové chlazení v soustavě optimalizovalo.

Obr.6 a 7 dále ukazují, že všechny odpadní dusík v potrubí 16 je ze separační jednotky vzduchu veden do

spalovače plynové turbíny, přechodového dílu a/nebo proudu chladiwa expandéru a to potrubími 420, 422 resp. 424. Rovněž je možné navracet pouze část odpadního dusíku ze separační jednotky vzduchu (při vhodném tlaku) do spalovače plynové turbíny, přechodového dílu a expandéru za účelem nejlepšího přizpůsobení požadavkům na chlazení. Jestliže není požadováno použití dusíku pro chlazení nebo to není výhodné může být dusík navrácen do těchto míst, aby zajistil zvýšení průtočného množství pohonou soustavou plynové turbíny a/nebo do spalovače nebo do přívodu paliva, aby zde působil jako ředidlo pro snížení teploty plamene a tím omezení tvorby NOx.

Obr.7 a 8 navíc zobrazují, že veškeré chlazení kompresoru 20 kyslíkového produktu a/nebo předřazeného kompresoru 412 je uskutečňováno demineralizovanou přídavnou vodou, která je pak vedena do sytiče 126 a/ nebo do ekonomizéru 142. V případech, kdy je potřebná vyšší výhřevnost přídavné vody, je možné směřovat pouze část kompresního tepla kyslíkového produktu do dražší demineralizované přídavné vody a zbytek tohoto tepla odvádět normální chladicí vodou. Navíc je možné převést část nebo veškeré kompresní teplo dusíkového zpětného proudu do demineralizované přídavné vody. Jako další možnost může být tento tok horké vody směřován do ohřívací soustavy 70 vody na zplynované uhlí pro její další ohřev před vstupem do sytiče 126.

Stejně jako u předešlých provedení, může jedna z možností tohoto provedení obsahovat přenos kompresního tepla propojovacího vzduchu, který je přiváděn do separační jednotky vzduchu, do přívodu vysokotlakého kyslíku ke zplynovači. V provedení, které je zobrazeno na obr.7, by mohla tato možnost používat přídavný tepelný výměník kyslíku (nezobrazen) umístěný směrem po proudu od místa odebírání vysokotlakého propojovacího vzduchu z kompresoru plynové

turbíny. U provedení, jak je zobrazeno na obr.8 by tato možnost mohla použít přídatný tepelný výměník kyslíku (nezobrazen) umístěný směrem po proudu od jakéhokoliv předřazeného kompresoru proudu propojovacího vzduchu nebo proti proudu od této jednotky, jestliže je proud propojovacího vzduchu odebírán ze sekce plynové turbíny před mezistupňovým chlazením. Další varianta umožňuje, aby přídatné kompresní teplo z dusíku chladícího turbínu bylo převedeno do proudu kyslíku. To by bylo možno uskutečnit umístěním tepelného výměníku směrem po proudu za kompresor kyslíku a kompresor dusíku.

Tento vynález, jak byl popsán v předešlých čtyřech provedeních, představuje významný pokrok oproti stavu techniky, protože tento vynález snižuje kapitálové náklady, zvyšuje výkon a/nebo účinnost při pevném výkonu. Tento vynález zlepšuje provozní pružnost elektrárny s integrovanou zplynovací vlhkovzdušnou turbínou nebo s kombinovaným cyklem (integrováním kombinovaným zplynovacím cyklem). Vynález se od dříve popsaných způsobů známých ze stavu techniky odlišuje ve svých provedeních různými kombinacemi klíčových principů propojení mezi separační jednotkou vzduchu a integrovanou zplynovací vlhkovzdušnou turbínou nebo integrováním kombinovaným zplynovacím cyklem. Prvním principem je odebírání části nebo veškerého stlačeného vzduchu, který napájí separační jednotku vzduchu, ze střední sekce nebo sekce mezistupňového chlazení vzduchového kompresoru plynové turbíny. Druhým principem je navracení odpadového dusíku ze separační jednotky vzduchu o středním tlaku do přívodu vzduchu vysokotlakého stupně vzduchového kompresoru plynové turbíny. Třetím principem je navracení odpadního dusíku ze separační jednotky vzduchu do spalovače plynové turbíny, přechodového dílu a/nebo expandéru jakožto regulovatelného inertního chladiwa. Čtvrtým principem je přenos kompresního tepla vzduchu, který napájí separační jednotku vzduchu, do přívodu vysokotlakého kyslíku do

zplynovače. Pátým principem je použití části kompresního tepla kyslíkového produktu, navraceného dusíku nebo tepla z jakékoliv pomocné separační jednotky vzduchu pro ohřívání vody užívané k sycení okysličovacího vzduchu nebo proudů paliva přiváděných do spalovače plynové turbíny. V závislosti na odlišnostech každé integrované zplynovací elektrárny zajišťují největší zlepšení oproti popsanému známému stavu techniky různé kombinace uvedených myšlenek.

Ačkoliv kryogenické separační jednotky, které byly dříve popsány, používají kompresor kyslíku, je rovněž možné použít okruh využívající tekutý kyslík. V těchto případech by stlačená tekutina jako je vzduch nebo dusík mohla být užita k odpařování čerpaného kyslíku. Kompresory pro tyto tekutiny by mohly být připojeny k okruhu zplynovací turbíny, jak již bylo popsáno pro kompresory kyslíku a předřazené kompresory vzduchu.

Čtyři provedení propojení integrované zplynovací vlhkovzdušné turbíny a separační jednotky vzduchu podrobně popsané v popise vynálezu byly zhodnoceny modelováním procesů na počítači, aby se stanovily jejich výhody v porovnání se stávajícími technologiemi. Provozní měřítko použité pro modelování bylo stejné jako u soustavy integrované zplynovací vlhkovzdušné turbíny, kterou popsali A.D.Rao a W.H.Day na desáté a jedenácté výroční konferenci EPRI o zplynovacích elektrárnách v roce 1991 a 1992 s nominálním výkonem 230 MW při okolní teplotě 32 °C. Odpovídající provozní objem kyslíku je 1400 tun/den (vytváří 95% čistého kyslíku). Tabulka 1 obsahuje výsledky počítačového modelování pro základní případ existující technologie vlhkovzdušné turbíny (sloupce I a III) a pro navrhovaná propojení integrované zplynovací vlhkovzdušné turbíny a separační jednotky vzduchu (sloupce II, IV až VI).

T a b u l k a 1

	základní případ nizkotlaké separační jednotky (obr.1)	případ propojené nizkotlaké separační jednotky (obr.2)	základní případ separač. jednotky s kapal. kyslíkem	případ propojené separač. jednotky s kapal. kyslíkem	případ propojené navrac. N se zvýšen. tlakem (obr.6)	případ propojené chladicího dusíku se zvýš. tlakem
	I	II	III	IV	V	VI
teplota napájecího vzduchu separ.jednotky: C	32,2	39,4	32,2	40	32,2	10
tlak napájecího vzduchu separ. jednotky: kPa	101	482	101	482000	1668	1380
celkový výkon separ.jednotky: kW	19756	7765	19026	3250	15999	19675
výkon kompresoru plynové turbíny: kW	102254	116613	101254	125245	105825	113563
teplota na vstupu do turbíny: C	1320	1320	1320	1320	1320	1320
tlak na vstupu do turbíny: kPa	3654	3702	3654	3730	3688	3792
nárůst spotřeby palíva: %		1,6		2,3	0,8	4,2
čistý výkon+: MW	209,3	212,4	210,0	211,7	212,8	216,3
celková spotřeba tepla: kJ/kWh	8090	8095	8062	8175	8017	8158

+ čistý výkon se rovná výstupní výkon expandéru plynové turbíny minus celkový výkon pro pohon kompresoru plynové turbíny, vzuchového kompresoru separační jednotky vzduchu, kompresoru odpadního dusíku a kompresoru kyslíkového produktu.

celková spotřeba tepla odpovídá dodávanému uhlí.

První provedení vynálezu (sloupec II) používá princip odebrání veškerého stlačeného vzduchu napájecího nízkotlakou separační jednotku vzduchu nebo jeho části ze sekce mezistupňového chlazení vzduchového kompresoru plynové turbíny a navracení části odpadního kompresního tepla kyslíkového produktu do sytiče okysličovadla. Toto provedení, zobrazené na obr.2, lze nejlépe srovnat se stávající technologií integrované zplynovací vlhkovzdušné turbíny se samostatnou nízkotlakou separační jednotkou vzduchu (sloupec I). Vynález má výhodu ve zmenšení nebo úplné eliminaci hlavního vzduchového kompresoru separační jednotky vzduchu a s tím spojenými úsporami ve výši kolem 7 000 000 USD a ve zvýšení výkonu elektrárny o více než 3,1 MW při v podstatě stejné spotřebě tepla. Navíc vynález umožňuje, aby separační jednotka pracovala při optimálnější tlaku napájecího vzduchu v rozmezí 345 až 1035 kPa bez dodatečné expanze nebo komprese oproti dřívější technologii odebrání napájecího vzduchu pro separační jednotku z vysokotlakého výstupu vzduchového kompresoru plynové turbíny, která byla popsána ve stavu techniky. Navíc, v závislosti na zvláštnostech soustavy chlazení, může být chladičový výkon přesunut do separační jednotky vzduchu lokalizací místa odebrání napájecího vzduchu pro separační jednotku vzduchu k mezistupňovému chladiči, čímž se dosáhne další provozní nebo konstrukční pružnosti. Náklady na tato zlepšení jsou relativně nízké a spočívají v možném požadavku na zvýšení kapacity nízkotlakého stupně vzduchového kompresoru plynové turbíny, zvětšení velikosti mezistupňových chladičů kompresoru plynové turbíny a ve zvýšení průtoku paliva oproti základnímu stavu o asi 1,6%. S možností přenést kompresní teplo vzduchu pro napájení separační jednotky vzduchu do proudu vysokotlakého kyslíku vedeného do zplynovače, zobrazené na obr.3, může být kyslík veden do zplynovače při vyšší teplotě, která zlepší výkon zplynovače. Výměnou za toto zlepšení výkonu zplynovače je, že méně kompresního tepla může být přeneseno do sytiče

okysličovacího vzduchu, ale protože toto zlepšení přivádí teplo přímo do procesu, může tato možnost přinést další výhody.

Druhé provedení vynálezu (sloupec IV) používá rovněž princip odebírání veškerého nebo části nízkotlakého stlačeného vzduchu napájecího nízkotlakou separační jednotku vzduchu ze sekce mezistupňového chlazení vzduchového kompresoru plynové turbíny a navrácení části odpadního kompresního tepla kyslíkového produktu do sytiče okysličovadla. Toto provedení, zobrazené na obr.4, rovněž odebírá všechny vysokotlaký napájecí vzduch připojený k části cyklu používajícího kapalný kyslík, z výstupu vysokotlaké sekce vzduchového kompresoru plynové turbíny a je nejlépe porovnatelný se stávající technologií integrované zplynovací vlhkovzdušné turbíny se samostatnou nízkotlakou separační jednotkou vzduchu používající kapalný kyslík (sloupec III). Vynález má výhodu především ve zmenšení nebo úplné eliminaci vzduchového kompresoru separační jednotky vzduchu s kapitálovými úsporami ve výši asi 8 000 000 USD a ve zvýšení výkonu elektrárny o 1,7 MW při mírně zvýšené spotřebě tepla. Jako u prvního provedení, umožňuje vynález, aby separační jednotka vzduchu, oproti dřívější technologii odebírání napájecího vzduchu pro separační jednotku z vysokotlakého výstupu vzduchového kompresoru plynové turbíny, popsané ve stavu techniky, pracovala při optimálnějším tlaku napájecího vzduchu v rozmezí 345 až 1035 kPa a to bez dodatečné expanze nebo komprese. Dále v závislosti na zvláštnostech systému mezistupňového chlazení a dochlazování může být chladicí výkon přesunut do separační jednotky vzduchu lokalizací místa odebírání napájecího vzduchu pro separační jednotku vzduchu k mezistupňovému chladiči a dochlazovači, čímž se dosáhne další konstrukční nebo provozní pružnosti soustavy. Náklady na tato zlepšení jsou relativně malé a spočívají v možném nároku na větší výkon vzduchového kompresoru plynové turbíny, na větší

velikost mezistupňového chladiče kompresoru plynové turbíny a dochlazovače, v případné potřebě přídavného expandéru vzduchu, jestliže je na vysokotlakém výstupu kompresoru plynové turbíny podstatně větší tlak než je tlak vysokotlakého vzduchu napájejícího separační jednotku a ve zvýšeném průtoku paliva o 2,3 % oproti základnímu případu. Při využití možnosti přivádět kompresní teplo propojovacího vzduchu, který napájí separační jednotku vzduchu, do vysokotlakého kyslíku vedeného do zplynovače (zobrazeno na obr.5), může být kyslík do zplynovače přiváděn za vyšší teploty, což zlepšuje výkon zplynovače. Stejně jako u předchozího provedení, je výměnou za toto zlepšení výkonu zplynovače to, že do sytiče okysličovacího vzduchu pak může být přeneseno menší množství kompresního tepla, ale vzhledem k tomu, že toto zlepšení přivádí teplo přímo do procesu, může tato možnost vytvářet další přínosy.

Třetí provedení vynálezu (sloupec V) používá odebrání části nebo veškerého stlačeného vzduchu pro napájení separační jednotky používající zvýšený tlak, ze sekce mezistupňového chlazení vzduchového kompresoru plynové turbíny, navracení části nebo veškerého odpadního dusíku ze separační jednotky vzduchu do vzduchu přiváděného do vysokotlaké sekce vzduchového kompresoru plynové turbíny a navracení odpadního tepla, vzniklého kompresí kyslíkového produktu, do sytiče okysličovacího vzduchu. Toto provedení, zobrazené na obr.6, lze nejlépe srovnat se stávající technologií integrované zplynovací vlhkovzdušné turbíny se samostatnou separační jednotkou vzduchu (sloupec I). Vynález má oproti této technologii výhodu ve zmenšení nebo úplném odstranění hlavního vzduchového kompresoru separační jednotky vzduchu a ve s tím spojených úsporách ve výši 7 000 000 USD, v podstatném zmenšení velikosti kompresoru kyslíku a ve zvýšeném výkonu elektrárny o 3,5 MW při mírně zlepšené spotřebě tepla. Toto provedení má rovněž výhodu v navracení kompresní energie dusíkového produktu o středním tlaku ze

separační jednotky vzduchu do soustavy plynové turbíny a to bez jakéhokoliv přídavného kompresního zařízení, na rozdíl od technologie navracení dusíku o zvýšeném tlaku ze separační jednotky vzduchu do proudu paliva nebo přímo do spalovací komory, jak byla popsána ve stavu techniky. Dále může být navracen dusík při nižší nebo vyšší teplotě než je teplota proudu vzduchu do něhož je přidáván. To může přinést další výhody ve zlepšení regulace vstupu do následujícího stupně kompresoru plynové turbíny. Například, když okolní teplota je pro zvýšení účinnosti komprese vysoká, může být dusík navracen při teplotě menší než je teplota vzduchového proudu pro přeplňování vysokotlaké sekce plynové turbíny. V závislosti na charakteristikách soustavy mezistupňového chlazení, může být chladicí výkon přenesen do separační jednotky vzduchu a to lokalizací místa odebírání vzduchu pro napájení separační jednotky vzduchu a místa navracení dusíku k mezistupňovému chladiči, což dále zlepší konstrukční a provozní pružnost soustavy. Náklady na tato zlepšení jsou relativně malé, jsou vyvolány požadavkem na velmi malé zvýšení výkonu nízkotlakého stupně vzduchového kompresoru plynové turbíny, mírně větší prostor pro mezistupňový chladič kompresoru plynové turbíny, na další předřazený kompresor separační jednotky a zvýšením průtoku paliva o 0,8 % oproti základnímu stavu. Při využití možnosti předávání kompresního tepla vzduchu napájecího integrovanou separační jednotku vzduchu do vysokotlakého kyslíku, který je přiváděn do zplynovače, může být kyslík do zplynovače přiváděn za vyšší teploty, která zvýší účinnost zplynovače. Stejně jako v předchozím případě je výměnou za toto zvýšení účinnosti zplynovače to, že méně kompresního tepla může být přeneseno do sytiče okysličovacího vzduchu, ale jelikož tímto zlepšením je teplo přenášeno přímo do procesu, může tato možnost přinášet další výhody. Také je nutno uvést, že obsah kyslíku v okysličovacím vzduchu je u tohoto provedení snížen ze zhruba 20% přebytku na 10% přebytek, což může ovlivnit konstrukci spalovače.

Čtvrté provedení vynálezu (sloupec VI) používá myšlenku navracení veškerého nebo části odpadního dusíku ze separační jednotky vzduchu jako regulovatelného inertního chladiva do přechodového dílu, a/nebo expandéru plynové turbíny a navracení odpadního kompresního tepla kyslíkového produktu do sytiče okysličovacího vzduchu. Toto provedení rovněž odebírá veškerý nebo alespoň část stlačeného vzduchu napájejícího separační jednotku vzduchu, která používá zvýšený tlak z výstupu sekce vysokého tlaku, ale ne nezbytně ze sekce nejvyššího tlaku vzduchového kompresoru plynové turbíny. Toto provedení, které bylo zobrazeno na obr.7, lze nejlépe porovnat se stávající technologií integrované zplynovací vlhkovzdušné turbíny se samostatnou nízkotlakou separační jednotkou vzduchu (sloupec I). Vynález má výhodu ve zmenšení nebo úplném odstranění hlavního vzduchového kompresoru separační jednotky, což představuje úsporu kapitálu ve výši asi 7 000 000 OSD, ve významném zmenšení velikosti kompresoru kyslíku a ve zvýšení výkonu elektrárny o 7,0 MW při mírně vyšší spotřebě tepla. Chlazení přechodového dílu plynové turbíny a/nebo expandéru bude skutečně nezávisle regulovatelným proudem inertního chladiva namísto proudem vzduchu, který je používán ve většině existujících technologií. Toto umožní větší provozní pružnost a mělo by také dovolit podstatné zvýšení teploty spalování. Zvýšená účinnost dosažená zvýšením teploty spalování nebyla vzata v úvahu při modelování účinnosti a výkonu elektrárny, takže skutečné přínosy budou větší než ty, které jsou vyčísleny v Tab. 1. Dále není pravděpodobné, na rozdíl od dřívější technologie navracení dusíku do proudu paliva nebo do spalovače, známé ze současného stavu techniky, že dusíkové chladivo může být dodáváno do turbínových stupňů při nižším tlaku než je tlak na výstupu vzduchového kompresoru plynové turbíny. Přínosy uvedené v Tab.1 je třeba považovat za poněkud opatrné. Varianta tohoto provedení, zobrazená na obr.8, rovněž používá myšlenku

odebírání vzduchu napájejícího separační jednotku vzduchu ze střední sekce nebo z dochlazovací sekce vzduchového kompresoru plynové turbíny s možností připojení předřazeného kompresoru pro zajištění vhodného přívodního tlaku do separační jednotky. U této varianty je dalším přínosem, závisajícím na specifikách soustavy mezistupňového chlazení, že chladicí výkon může být přenesen do separační jednotky vzduchu a to lokalizací místa odběru vzduchu pro napájení separační jednotky vzduchu do blízkosti mezistupňových chladičů, čímž se opět dosáhne konstrukční a provozní pružnosti. Náklady u tohoto provedení představuje možné zvýšení výkonu vzduchového kompresoru plynové turbíny, zvětšení velikosti mezistupňových chladičů a dochlazovačů kompresoru plynové turbíny, přídavný expandér vzduchu, který je potřebný u provedení z obr.7, jestliže je výstupní tlak vzduchového kompresoru plynové turbíny podstatně vyšší než tlak vysokotlakého proudu vzduchu napájejícího separační jednotku vzduchu, přídavný kompresor dusíku a zvýšení průtoku paliva o 4,2 % oproti základnímu případu. U varianty s předáváním kompresního tepla vzduchu napájejícího integrovanou separační jednotku vzduchu do vysokotlakého kyslíku přiváděného do zplynovače může být kyslík přiváděn do zplynovače při vyšší teplotě, která zvyšuje účinnost zplynovače. Stejně jako v předchozích případech je výměnou za toto zvýšení účinnosti zplynovače snížení množství kompresního tepla, které může být předáno do sytiče okysličovacího vzduchu, ale protože tímto zlepšením se teplo přenáší přímo do procesu, může tato varianta přinést další výhody. Dalších výhod se dosáhne u varianty s předáváním dalšího kompresního tepla z dusíku chladícího turbínu do proudu kyslíku. Za prvé, kyslík může být přiváděn do zplynovače při vyšší teplotě, čímž se zvyšuje jeho účinnost. Dále část nebo veškerý dusík, který chladí turbínu může být dodáván při nižší teplotě do spalovače, přechodového dílu nebo do expandéru plynové turbíny, což rovněž zvyšuje jeho účinnost.

Páté provedení vynálezu se, oproti provedením předchozím, vztahuje na soustavu integrovaného kombinovaného zplynovacího cyklu a používá princip navracení části nebo veškerého odpadního dusíku ze separační jednotky vzduchu jako regulovatelného inertního chladiwa do přechodového dílu a/nebo expandéru plynové turbíny. U tohoto provedení se odebírá všechno nebo jen část stlačeného vzduchu napájejícího separační jednotku vzduchu, která pracuje se zvýšeným tlakem, z vysokotlaké sekce, ale ne nezbytně ze sekce s nejvyšším tlakem vzduchového kompresoru plynové turbíny. Toto provedení, které není zobrazeno, je nejlépe srovnatelné se stávající technologií kombinovaného zplynovacího cyklu s integrovanou separační jednotkou pracující se zvýšeným tlakem a s dusíkem navraceným do palivového proudu spalovače. Užitky a výhody nebyly kvantitativně modelovány, ale vyplývají z chlazení přechodového dílu a/nebo expandéru plynové turbíny, které je prováděno nezávisle regulovaným proudem inertního chladiwa místo proudu vzduchu užívaného ve stávající technologii. Tato nezávislá regulovatelnost umožní větší provozní pužnost a také umožní podstatné zvýšení teploty hoření. Tato zvýšená teplota hoření naopak podstatně zvýší jak účinnost, tak i výkon elektrárny. Navíc může být dusíkové chladiwo dodáváno do turbíny při mnohem nižším tlaku než je tlak paliva spalovače plynové turbíny a tím kapitálové a provozní náklady na stlačování dusíku budou rovněž podstatně nižší. Náklady na tato zlepšení ve vztahu ke stávající technologii spočívají v tom, že potlačení vzniku NOx může vyžadovat doplňování páry z tepelného rekuperačního parního generátoru, která je vstřikována do spalovače. Při použití přenosu dalšího kompresního tepla z dusíku chladičího turbínu do proudu kyslíku lze získat další výhody. Za prvé, kyslík může být přiváděn do zplynovače s vyšší teplotou, což zlepší jeho účinnost. Dále může být část nebo veškerý dusík chladičí turbínu přiváděn s nižší teplotou do spalovače,

přechodového dílu nebo expandéru plynové turbíny, což může také zlepšit jeho účinnost.

Specifické výhody použití vhodných kombinací nových principů tohoto vynálezu, závisí na zvláštnostech dané soustavy pro výrobu energie. Z nejvýhodnějších provedení vynálezu, které byly výše popsány je zřejmé, že je zde dosaženo významných zlepšení v porovnání s existující technologií co se týká výkonu, účinnosti, provozní pružnosti a kapitálových úspor.

U opravdu optimální konstrukce integrovaného zařízení se mohou některá umístění propojovacích proudů vzduchu nebo dusíku vyskytovat uvnitř hlavních prvků zařízení t.j. proud odebíraného vzduchu ze vzduchového kompresoru plynové turbíny může být odebírán ze středního místa uvnitř kompresoru při tlaku menším než je konečný výtlačný tlak kompresorové jednotky.

Vynález byl popsán s odkazem na několik svých zvláštních provedení. Na tato provedení nelze nazírat jako na vynález omezující. Rozsah a myšlenka tohoto vynálezu je stanovena v následujících patentových nárocích.

P A T E N T O V É N Á R O K Y

propojení sepravy vzduchu z plynové turbíny

1. Způsob výroby elektrické energie, kde v kryogenické separační jednotce vzduchu je stlačený vzduch destilován na kyslíkový produkt a odpadní dusíkový produkt, kde alespoň část tohoto kyslíkového produktu je stlačena a reaguje s uhlíkatým palivem v zplynovači nebo v jednotce částečné oxidace za vzniku syntetického plynu obsahujícího oxid uhelnatý a vodík, kde napájecí vzduch je stlačen ve vzduchovém kompresoru plynové turbíny a následně nasycen, kde je syntetický plyn spalován s nasyceným, stlačeným, plynovou turbínu napájejícím, vzduchem ve spalovači za vzniku spalin, které procházejí přes přechodový díl a pak expandují v turbíně a produkují energii, kde alespoň část takto vytvořené energie je použita na pohon kompresoru vzduchu plynové turbíny a kde alespoň další část vytvořené práce je použita na výrobu elektřiny vyznačující se tím, že

(a) alespoň část stlačeného vzduchu, přiváděného do kryogenické separační jednotky vzduchu, je částí stlačeného vzduchu napájejícího plynovou turbínu, odebranou ze vzduchového kompresoru plynové turbíny, a

(b) alespoň část kompresního tepla kyslíkového produktu se použije na ohřívání vody pro nasycení stlačeného vzduchu napájejícího plynovou turbínu.

2. Způsob podle nároku 1 vyznačující se tím, že alespoň část odpadního dusíkového produktu je přiváděna do středního stupně kompresoru vzduchu napájejícího plynovou turbínu.

3. Způsob podle nároku 1 vyznačující se tím, že alespoň část odpadního dusíkového produktu je vstřikována jako regulovatelné inertní plynné chladivo, ředidlo nebo jako průtočné množství zvětšující složka do alespoň jedné části zařízení vybrané ze skupiny obsahující spalovač, přechodový díl a plynovou turbínu.

4. Způsob podle nároku 2 vyznačující se tím, že alespoň část odpadního dusíkového produktu je vstřikována jako regulovatelné inertní plyné chladio, ředidlo nebo jako průtočné množství zvětšující složka do alespoň jedné části zařízení vybrané ze skupiny obsahující spalovač, přechodový díl a plynovou turbínu.

5. Způsob podle nároku 1 vyznačující se tím, že se použije alespoň část tepla, obsaženého v části stlačeného vzduchu napájejícího plynovou turbínu odebrané ze vzduchového kompresoru napájecího vzduchu plynové turbíny a která je vedena do kryogenické separační jednotky vzduchu pro ohřívání části kyslíkového produktu přiváděného do zlynovače nebo do jednotky částečné oxidace.

6. Způsob podle nároku 2 vyznačující se tím, že se použije alespoň část tepla, obsaženého v části stlačeného vzduchu napájejícího plynovou turbínu odebrané ze vzduchového kompresoru napájecího vzduchu plynové turbíny a která je vedena do kryogenické separační jednotky vzduchu pro ohřívání části kyslíkového produktu přiváděného do zlynovače nebo do jednotky částečné oxidace.

7. Způsob podle nároku 3 vyznačující se tím, že se použije alespoň část tepla, obsaženého v části stlačeného vzduchu napájejícího plynovou turbínu odebrané ze vzduchového kompresoru napájecího vzduchu plynové turbíny a která je vedena do kryogenické separační jednotky vzduchu pro ohřívání části kyslíkového produktu přiváděného do zlynovače nebo do jednotky částečné oxidace.

8. Způsob podle nároku 4 vyznačující se tím, že se použije alespoň část tepla, obsaženého v části stlačeného vzduchu napájejícího plynovou turbínu odebrané ze vzduchového kompresoru napájecího vzduchu plynové turbíny a která je vedena do kryogenické separační jednotky vzduchu

pro ohřívání části kyslíkového produktu přiváděného do zlynovače nebo do jednotky částečné oxidace.

9. Způsob podle nároku 1 vyznačující se tím, že z kompresoru vzduchu napájecího plynovou turbínu odebraná část tohoto stlačeného vzduchu je dále stlačena ve vzduchovém kompresoru separační jednotky před tím, než je přivedena do separační jednotky k destilaci a kompresní teplo, vzniklé tímto dalším stlačením, je použito k ohřívání vody pro nasycování napájecího vzduchu plynové turbíny.

10. Způsob podle nároku 2 vyznačující se tím, že z kompresoru vzduchu napájecího plynovou turbínu odebraná část tohoto stlačeného vzduchu je dále stlačena ve vzduchovém kompresoru separační jednotky před tím, než je přivedena do separační jednotky k destilaci a kompresní teplo, vzniklé tímto dalším stlačením, je použito k ohřívání vody pro nasycování napájecího vzduchu plynové turbíny.

11. Způsob podle nároku 3 vyznačující se tím, že z kompresoru vzduchu napájecího plynovou turbínu odebraná část tohoto stlačeného vzduchu je dále stlačena ve vzduchovém kompresoru separační jednotky před tím, než je přivedena do separační jednotky k destilaci a kompresní teplo, vzniklé tímto dalším stlačením, je použito k ohřívání vody pro nasycování napájecího vzduchu plynové turbíny.

12. Způsob podle nároku 4 vyznačující se tím, že z kompresoru vzduchu napájecího plynovou turbínu odebraná část tohoto stlačeného vzduchu je dále stlačena ve vzduchovém kompresoru separační jednotky před tím, než je přivedena do separační jednotky k destilaci a kompresní teplo, vzniklé tímto dalším stlačením, je použito k ohřívání vody pro nasycování napájecího vzduchu plynové turbíny.

13. Způsob podle nároku 5 vyznačující se tím, že z kompresoru vzduchu napájecího plynovou turbínu odebraná část tohoto stlačeného vzduchu je dále stlačena ve vzduchovém kompresoru separační jednotky před tím, než je přivedena do separační jednotky k destilaci a kompresní teplo, vzniklé tímto dalším stlačením, je použito k ohřívání vody pro nasycování napájecího vzduchu plynové turbíny.

14. Způsob podle nároku 6 vyznačující se tím, že z kompresoru vzduchu napájecího plynovou turbínu odebraná část tohoto stlačeného vzduchu je dále stlačena ve vzduchovém kompresoru separační jednotky před tím, než je přivedena do separační jednotky k destilaci a kompresní teplo, vzniklé tímto dalším stlačením, je použito k ohřívání vody pro nasycování napájecího vzduchu plynové turbíny.

15. Způsob podle nároku 7 vyznačující se tím, že z kompresoru vzduchu napájecího plynovou turbínu odebraná část tohoto stlačeného vzduchu je dále stlačena ve vzduchovém kompresoru separační jednotky před tím, než je přivedena do separační jednotky k destilaci a kompresní teplo, vzniklé tímto dalším stlačením, je použito k ohřívání vody pro nasycování napájecího vzduchu plynové turbíny.

16. Způsob podle nároku 8 vyznačující se tím, že z kompresoru vzduchu napájecího plynovou turbínu odebraná část tohoto stlačeného vzduchu je dále stlačena ve vzduchovém kompresoru separační jednotky před tím, než je přivedena do separační jednotky k destilaci a kompresní teplo, vzniklé tímto dalším stlačením, je použito k ohřívání vody pro nasycování napájecího vzduchu plynové turbíny.

17. Způsob podle nároku 2, 3 nebo 4 vyznačující se tím, že odpadní dusíkový produkt je stlačován.

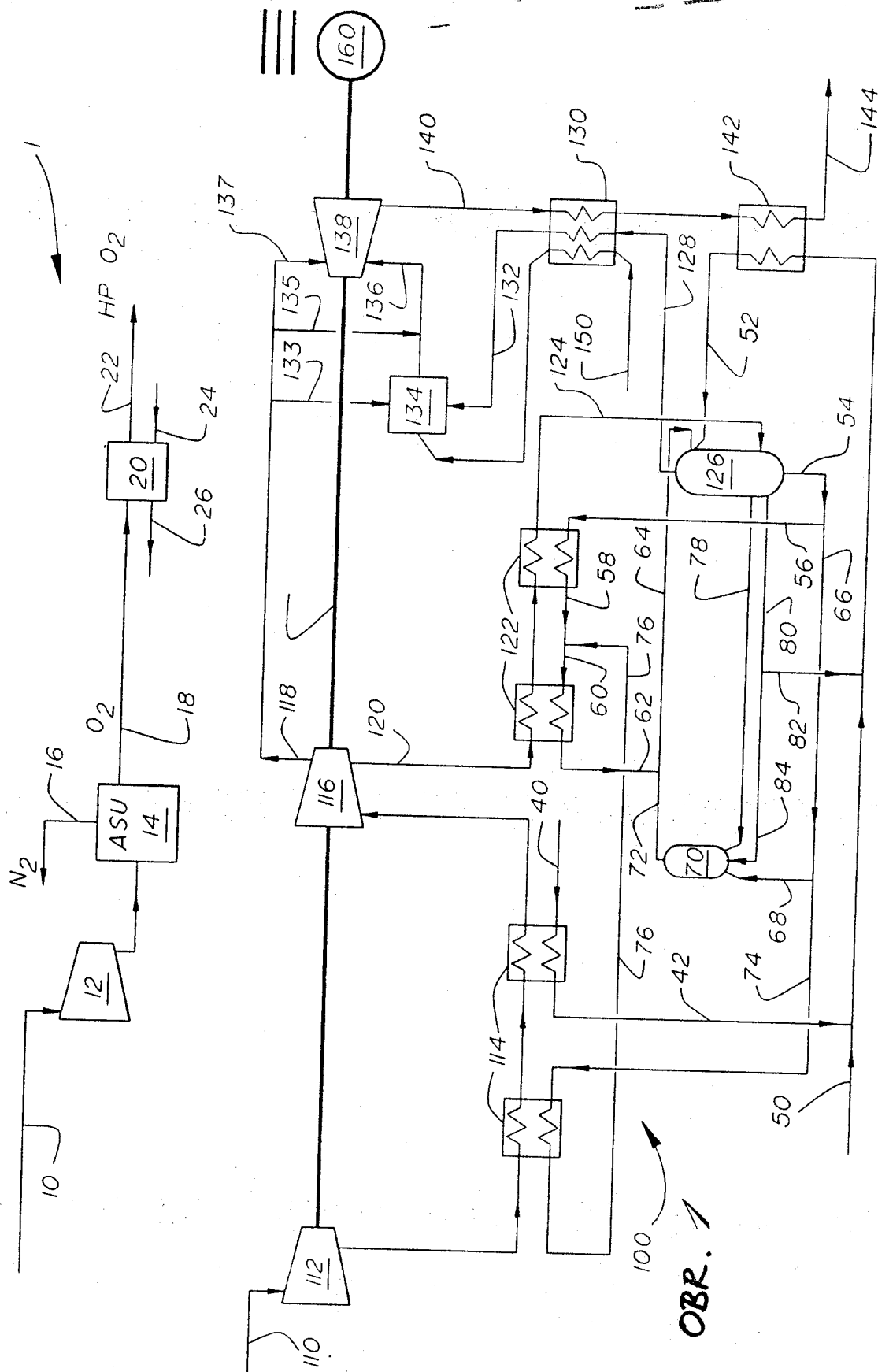
18. Způsob podle nároku 17 vyznačující se tím, že kompresní teplo, vzniklé dalším stlačováním dusíkového produktu, je použito k ohřívání vody pro nasycování ztlačeného vzduchu napájecího plynovou turbínu.

19. Způsob podle nároku 1, 2, 3 nebo 9 vyznačující se tím, že kryogenická separační jednotka vzduchu pracuje při zvýšeném tlaku.

20. Způsob podle nároku 19 vyznačující se tím, že se v expandéru, za vzniku práce, snižuje tlak alespoň části odpadního dusíkového produktu.

21. Způsob podle nároku 1, 2, 3, nebo 9 vyznačující se tím, že z kompresoru napájecího vzduchu plynové turbíny odebraná část tohoto stlačeného napájecího vzduchu expanduje v expandéru za vzniku práce před tím, než je přivedena do separační jednotky vzduchu pro destilaci.

22. Způsob podle nároku 1, 2, 3, nebo 9 vyznačující se tím, že expandované spaliny se použijí pro výrobu páry.



OBR.

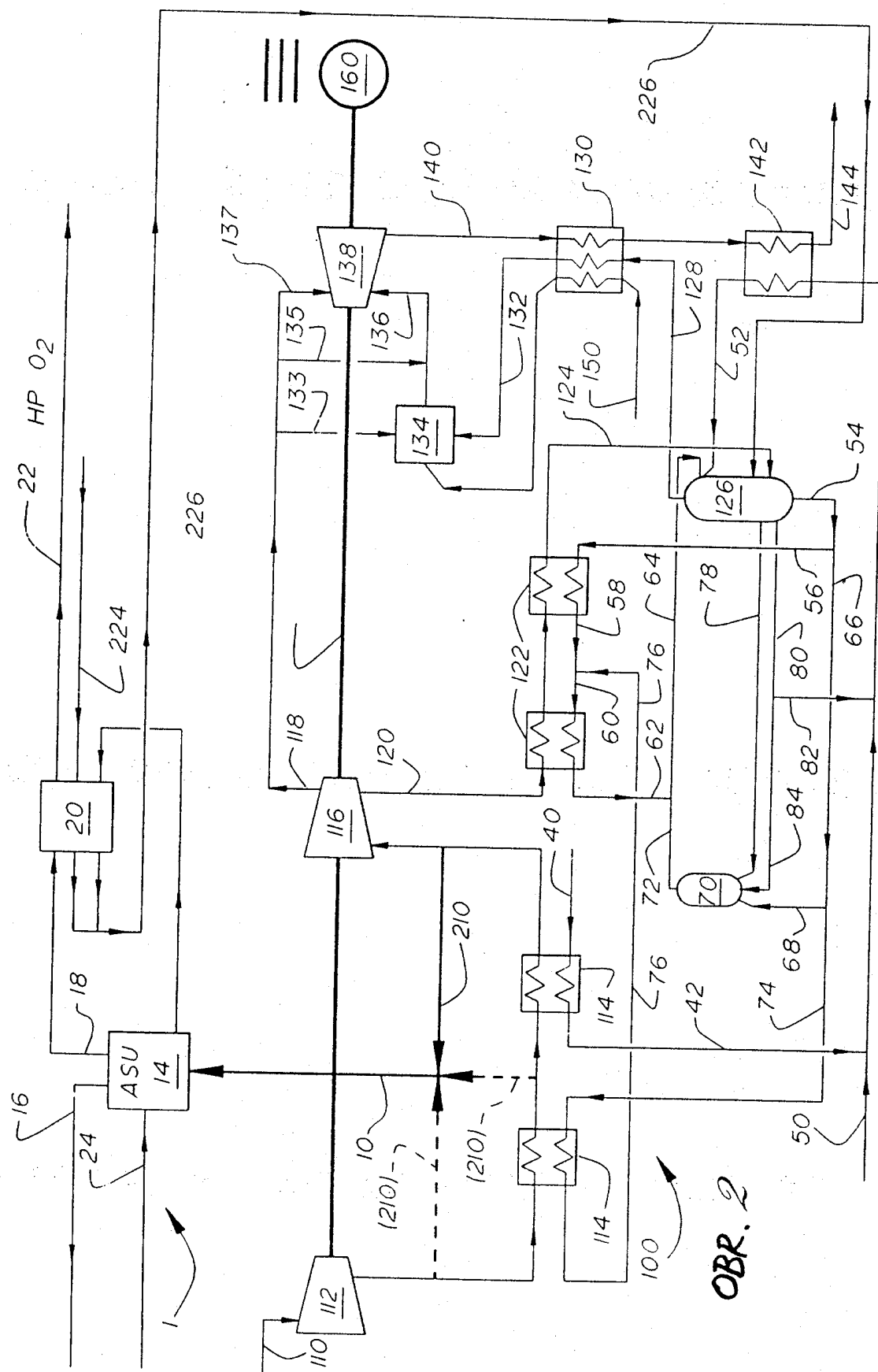
URAD
PRŮMYSLOVNÍHO
VLASTNÍCTVÍ
PŘÍL.

12. VII. 9.

07500

37171

١٠٠



OBR. 2

Přil.

PRŮMYSL OVĚHO
VLASTNICTVÍ

12. VII 94,

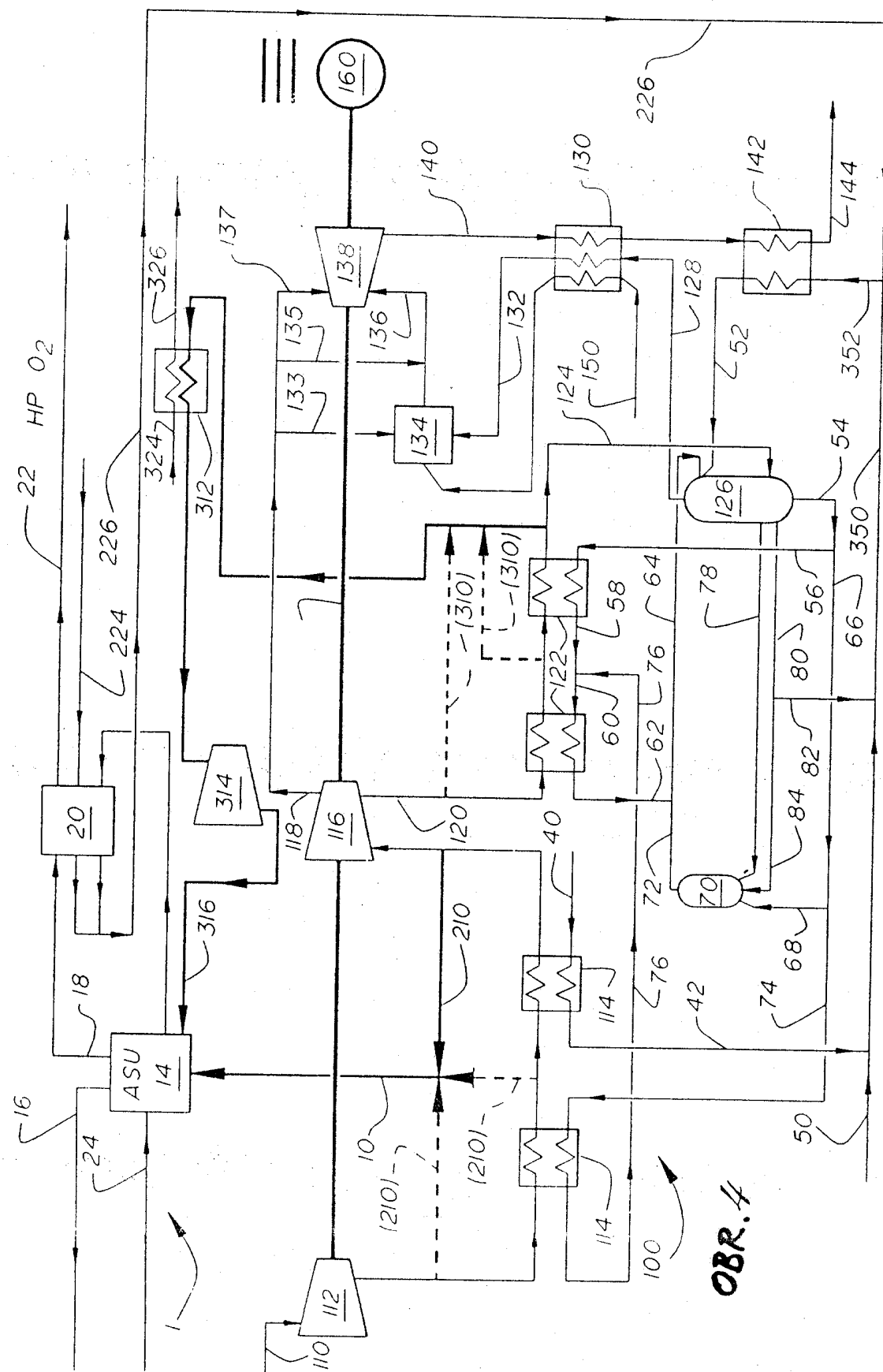
0500

37171

א.י.

APRIL.





OBR. 4

PRÍL.

U RAD
PRŮMYŠLOVÉHO
VLASTNOSTI

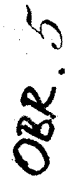
1 2 1 2 1

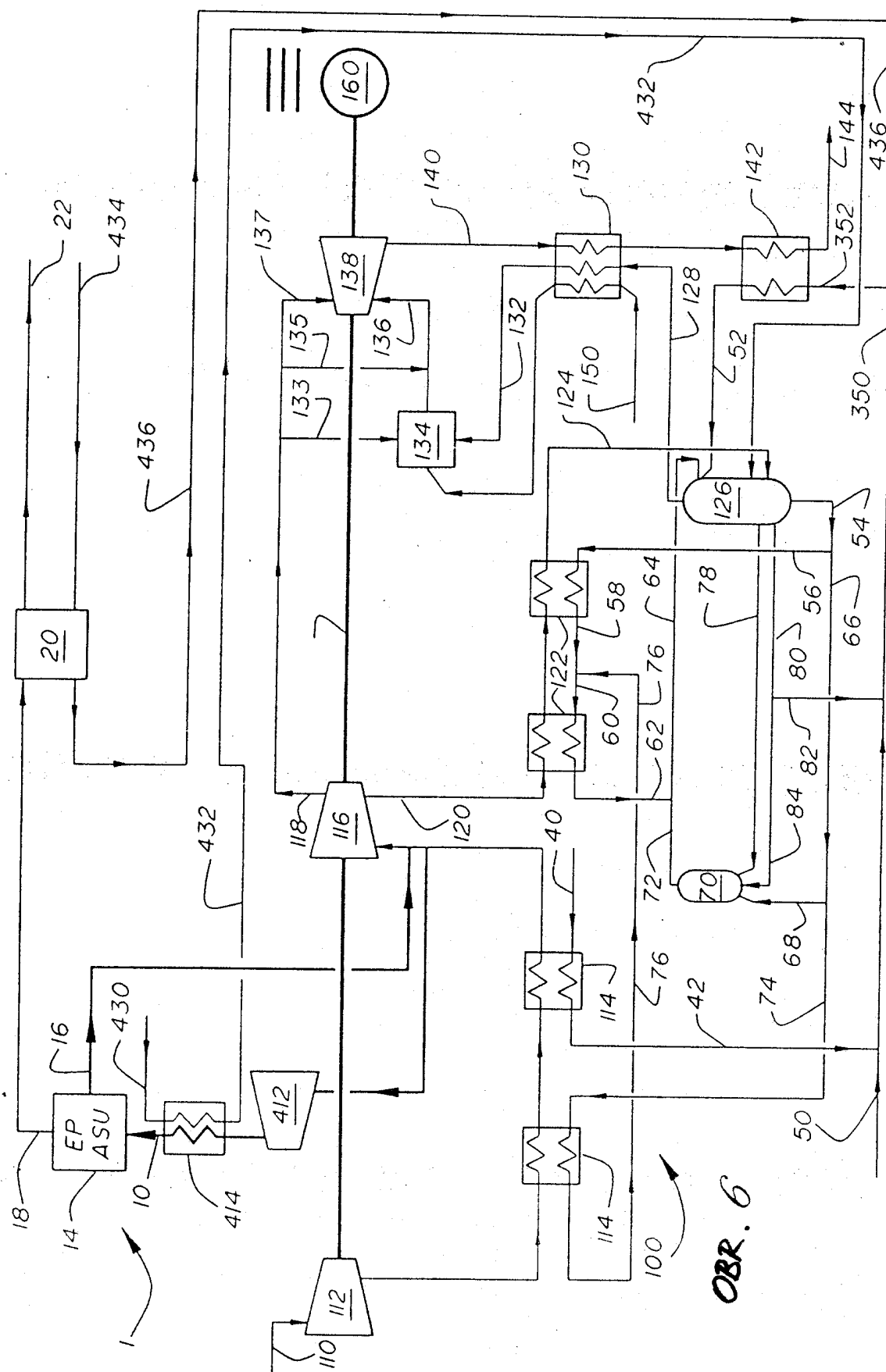
01500

1 2 1 2 1

1 2 1 2 1

5.





711

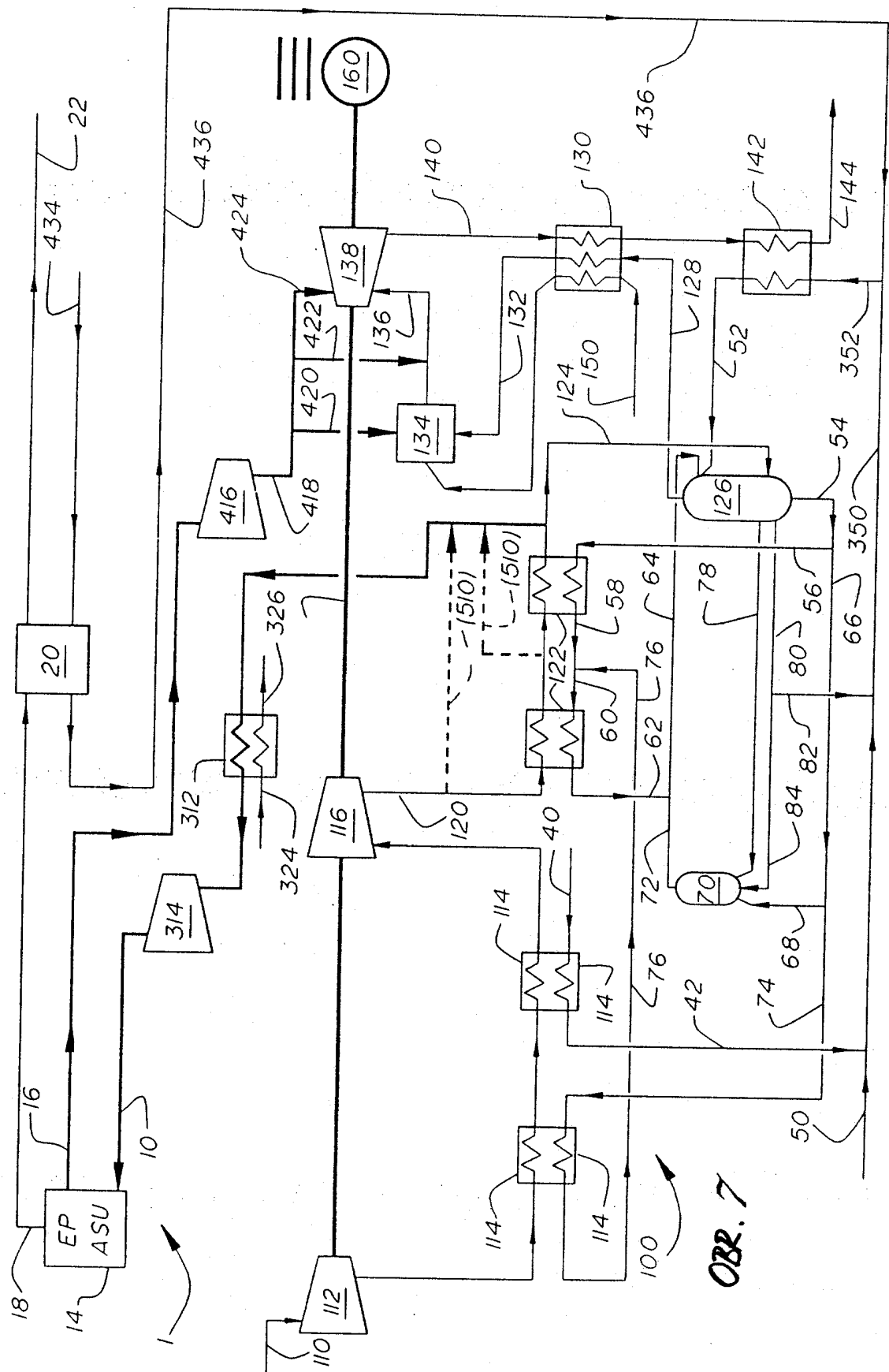
ÚŘAD
HODMYSŮVÉHO
ASTNICTVÍ

2. VII 94

00510

37171

10



OBJ. 7

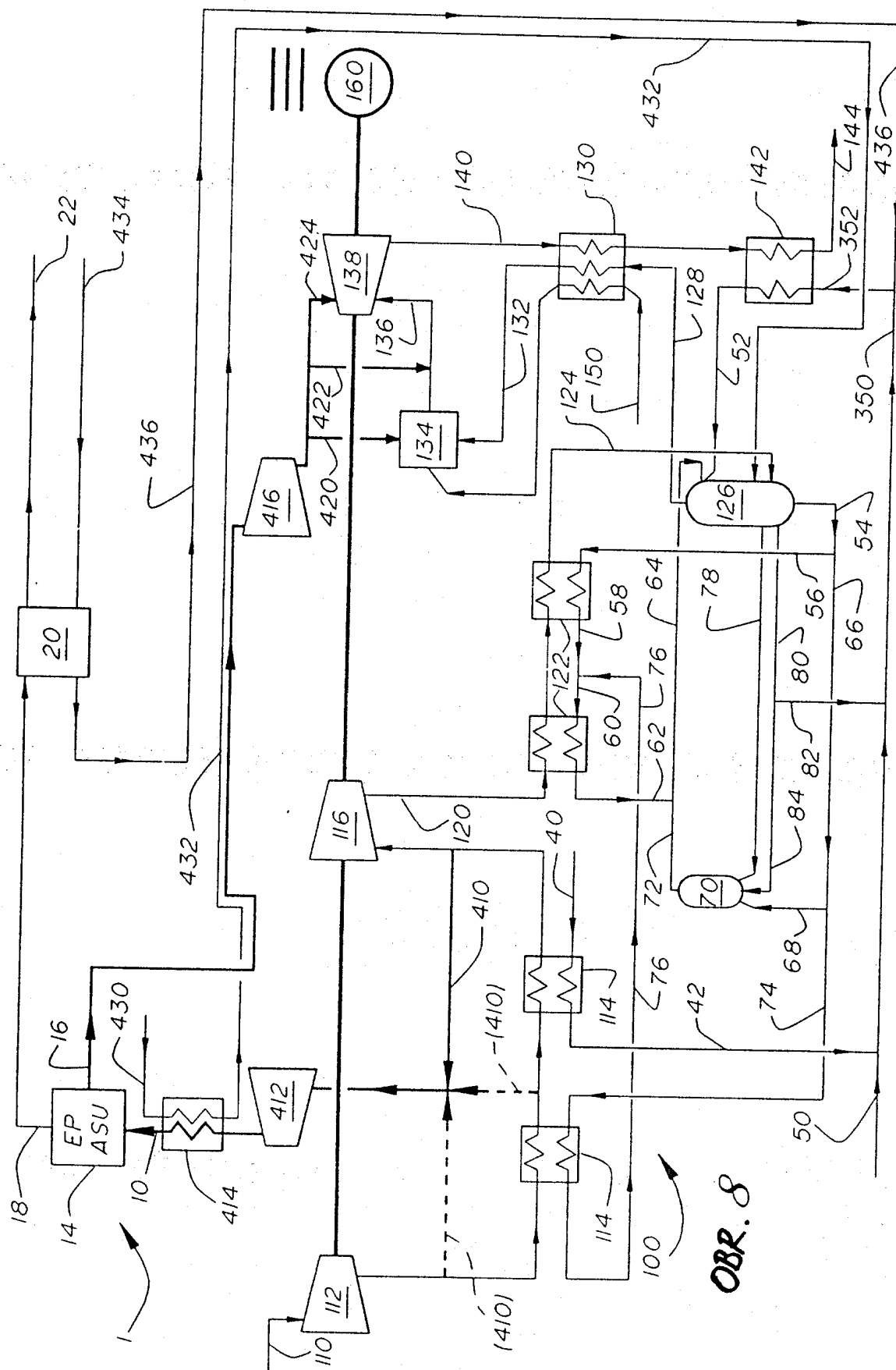
U RAD
PRŮMYŠLOVÉHO
VLASTNICTVÍ
PŘÍL.

12. VII. 1947

00300

171710

2.2



OBR. 8

PRÍ	URAD	PROVYSLOVHO	VLASTNICTVÍ
76	11A	21	01500
1	1	1	1
1	1	1	1

14 10 11 - 77