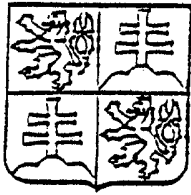


ČESKÁ A SLOVENSKÁ  
FEDERATIVNÍ  
REPUBLIKA  
(19)



FEDERÁLNÍ ÚŘAD  
PRO VYNÁLEZY

ZVEŘEJNĚNÁ PŘIHLÁŠKA  
VYNÁLEZU

(12)

(21) 01455-92

(13) A3

5(51) F 25 J 3/04,  
3/06

(22) 14.05.92

(32) 14.05.91

(31) 91/700021

(33) US

(40) 18.11.92

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

(72) Agrawal Rakesh ing., Allentown, Pennsylvania, US  
Xu Jianguo ing., Fogelsville, Pennsylvania, US

(54) Kryogenní způsob rozdělení proudu vzduchu

(57) Při tomto způsobu se používá systém destilačních kolon mající alespoň dvě destilační kolony, vysokotlakou destilační kolonu (902) a nízkotlakou destilační kolonu (904). Tyto dvě destilační kolony jsou ve vzájemném tepelném spojení. Nízkotlaká destilační kolona pracuje při tlaku od 62,05 kPa do 517,1 kPa a z její horní části se odvádí dusíkový produkt. Alespoň 50 % vzduchu přiváděného do systému destilačních kolon se odvádí jako tento dusíkový produkt, který má koncentraci dusíku alespoň 95 % a má tlak alespoň 62,05 kPa. Dále způsob spočívá v částečném ohřátí dusíkového produktu, jeho následující isentropické expanzi a inherentním ochlazení expandovaného dusíku. Částečně ohřátý dusíkový produkt může být rozdělen na dva dílčí proudy. První dílčí proud je pak ochlazen isentropickou expanzí, druhý dílčí proud je nejprve zahřát výměnou tepla s vhodným jiným proudem a pak ochlazen isentropickou expanzí, přičemž alespoň částí tohoto proudu je využito pro regeneraci molekulárního síta pro předběžné čištění přiváděného vzduchu.

PRIL.	PRO VYVÁŘENÍ A OBJEVY	ÚŘAD PRO VYVÁŘENÍ A OBJEVY	031742	09. VI 92	031742
-------	--------------------------	----------------------------------	--------	-----------	--------

KRYOGENNÍ ZPŮSOB ROZDĚLENÍ PROUDU VZDUCHU

Oblast techniky

Vynález se týká kryogenního způsobu rozdělení proudu vzduchu na jeho složky při provozu destilačních kolon použitých ve způsobu při zvýšeném tlaku.

Dosavadní stav techniky

Zvláštní použití složek vzduchu často vyžadují, aby složky byly vyráběny jako kapalné produkty zařízení na rozdělení vzduchu. Kryogenní cykly rozdělení vzduchu při zvýšeném tlaku mají výhodu spočívající v tom, že zařízení má menší rozměry a potrubí mají menší průměry a také ztráty energie způsobené úbytky tlaku v potrubí a v přístrojích jsou menší. Nevýhodné je, že dusík vyráběný v zařízení na rozdělení vzduchu při zvýšeném tlaku má vyšší tlak než je požadován pro jeho použití. Energie tohoto nadměrného tlaku dusíku z cyklu o vyšším tlaku může být využita pro výrobu kapalných produktů. S možností použít této přebytečné tlakové energie je spojen problém nalezení účinnějších cest využití tlakové energie dusíkového produktu z cyklů o vyšším tlaku.

Obvyklý způsob výroby kapalného kyslíku a/nebo kapalného dusíku spočívá v přidání zkapalňovače k nízkotlakovému cyklu jednotky pro rozdělení vzduchu, ve které nízkotlaková kolona pracuje v rozmezí tlaku od 2 do 9 psig. Zkapalňovač může být zabudován do zařízení pro rozdělování vzduchu, jaká jsou popsána například v patentovém spise Spojených států amerických číslo 4,152,130, kde stlačený vzduch se rozpíná pro vyvinutí ochlazení potřebného pro zkapalnění. Rozpínací cykly vzduchu mají nevýhodu, že když se žádají velká množství produktu kapalného dusíku, utrpí tím poněkud rekuperace kyslíku a argonu.

Patentový spis Spojených států amerických číslo 4,705,548 popisuje použití čerpání tepla dusíkem za účelem pomoci vyřešit tento problém rekuperace, avšak naneštěstí tento krok čerpání tepla sníží účinnost zvýšením ztráty energie ve výměnících tepla a zvýší náklady na zařízení.

Britský patentový spis číslo 1,450,164 navrhuje zvýšení provozního tlaku v jednotce pro rozdělení vzduchu, čímž se vyrobí dusíkový produkt o zvýšeném tlaku a potom se tato tlaková energie použije k nahrazení chlazení potřebného pro výrobu kapalného kyslíku. Tento cyklus není účinný z důvodu zbytečného stupně ztráty

energie při použití ochlazení vyvíjeného rozpínáním stlačeného dusíku.

Jiný problém obvyklých zařízení pro rozdělení vzduchu spočívá v tom, že typicky velká množství surového dusíku jsou použita pro výrobu zmrazené vody, která musí mít tlak velmi blízký tlaku ovzduší, například o 0,5 psi vyšší než tlak ovzduší, a pro regeneraci loží molekulárních sít, která musí mít tlak asi o 1 až 3 psi vyšší než je tlak ovzduší. Obvykle se oba proudy vyrábějí v nízkotlaké koloně s tlakem v nízkotlaké koloně nastaveným tlakem regeneračního proudu molekulárního síta, což má za následek vyšší tlak v koloně a tedy i vyšší výstupní tlak hlavního vzduchového kompresoru. Jiná cesta nastavení tlaku nízkotlaké kolony je podle tlaku dusíkového proudu pro mrazení vody a stlačení regeneračního proudu na žádaný tlak. Toto řešení vyžaduje vyšší náklady, neboť tyto zvyšuje booster tlaku regeneračního proudu a dodatečný chladič.

#### Podstata vynálezu

Vynález vytváří kryogenní způsob rozdělení proudu vzduchu na jeho složky, který využívá systému destilačních kolon majícího alespoň dvě destilační kolony, vysokotlakou destilační kolonu a nízkotlakou destilační kolonu, které jsou ve vzájemném tepelném spojení, kde nízkotlaká kolona pracuje při tlaku od 9 do 75 psig, a vyrábí dusíkový produkt, kde alespoň 50% přiváděného vzduchu do systému destilačních kolon se odvádí z nízkotlaké kolony jako dusíkový produkt, a kde dusíkový produkt má koncentraci dusíku alespoň 95% a tlak alespoň 9 psig, jehož podstata spočívá v tom, že obsahuje kroky (a) částečné ohřátí dusíkového produktu výměnou tepla s vhodným proudem způsobu, (b) isentropickou expanzí tohoto částečně ohřátého dusíkového produktu v expandéru, takže výsledkem této expanze je teplota expandovaného dusíku nižší než teplota proudů kapalin, které se odvádějí z vysokotlaké kolony a (c) podchlazení kapalného proudu odváděného z vysokotlaké kolony výměnou tepla proti isentropicky expandovanému dusíku před isentropickou redukcí tlaků takových kapalných proudů ventilem.

Podle výhodného provedení předloženého vynálezu se kapalné produkty vyrábějí kroky (a) částečným ohřátím dusíkového produktu výměnou tepla s vhodným proudem způsobu, (b) isentropickou expanzí částečně ohřátého dusíkového produktu v expandéru, čímž je

teplota expandovaného dusíku na nebo pod rosným bodem přiváděného vzduchu do dvoukolonového destilačního systému, a (c) ochlazením přiváděného vzduchu výměnou tepla proti isentropicky expandovanému dusíku.

Podle dalšího výhodného provedení předloženého vynálezu způsob obsahuje kroky (a) částečné ohřátí dusíkového produktu výměnou tepla s vhodným proudem způsobu, (b) rozdělení částečně ohřátého dusíkového proudu do prvního a druhého dílčího proudu, (c) isentropickou expanzi prvního dílčího proudu v expandéru, což má za následek snížení teploty expandovaného prvního dílčího proudu na teplotu nižší než je teplota kapalných proudů, které se odvádějí z vysokotlaké kolony, (d) podchlazení kapalných proudů odváděných z vysokotlaké kolony výměnou tepla proti isentropicky expandovanému prvnímu dílčímu proudu před isentropickou redukcí tlaků takových kapalných proudů ventilem, (e) ohřátí druhého dílčího proudu výměnou tepla proti vhodnému proudu způsobu, (f) isentropickou expanzi tohoto částečně ohřátého druhého dílčího proudu v expandéru, takže výsledek této expanze je snížení teploty expandovaného druhého dílčího proudu pod rosný bod přiváděného vzduchu do dvoukolonového destilačního systému a (g) ochlazení přiváděného vzduchu výměnou tepla proti isentropicky expandovanému prvnímu i druhému dílčímu proudu.

Podle dalšího výhodného provedení předloženého vynálezu ochlazení přiváděného vzduchu výměnou tepla s isentropickým expandovaným dusíkovým produktem kroku (c) také částečně kondenzuje proud přiváděného vzduchu.

Podle dalšího výhodného provedení předloženého vynálezu chlazení přiváděného vzduchu výměnou tepla s isentropicky expandovaným druhým dílčím proudem z kroku (g) také částečně kondenzuje proud přiváděného vzduchu.

Podle dalšího výhodného provedení předloženého vynálezu před isentropickou expanzí se druhý dílčí proud stlačí a potom ochladí.

Podle dalšího výhodného provedení předloženého vynálezu alespoň část ohřátého isentropicky expandovaného druhého dílčího proudu z kroku (g) se použije pro regeneraci loží molekulárního síta použitého k předběžnému čištění proudu přiváděného vzduchu.

Podle dalšího výhodného provedení předloženého vynálezu alespoň část isentropicky expandovaného prvního dílčího proudu z kroku (d) se použije pro regeneraci loží molekulárního síta

použitého pro předběžné čištění přiváděného proudu vzduchu.

Podle dalšího výhodného provedení předloženého vynálezu část ohřátého dusíku z kroku (a) isentropicky expanduje v odděleném expandéru na tlak o 1 až 3 psi nižší než vypouštěcí tlak isentropicky expandovaného dusíku z kroku (b) a kde isentropicky expandovaná část se použije k regeneraci loží molekulárních sítí použitých pro předběžné čištění proudu přiváděného vzduchu.

#### Přehled obrázků na výkresech

Vynález je znázorněn na výkresech, kde obr.1 až 8 a obr.10 jsou schematické diagramy několika provedení způsobu podle předloženého vynálezu a obr.9 je schematický diagram obvyklého způsobu rozdělení vzduchu podle dosavadního stavu techniky.

#### Příklady provedení vynálezu

Předložený vynález představuje zlepšení způsobu kryogenního rozdělení vzduchu používajícího systém destilačních kolon mající alespoň dvě kolony, kde provozní tlak v nízkotlaké koloně je zvýšen nad obvyklý tlak od 2 do 9 psig. Při tlaku v nízkotlaké koloně od 9 do 75 psig se vyrábí v nízkotlaké koloně dusíkový produkt při podobných tlacích. Navíc, alespoň 50% vzduchu přiváděného do zařízení se odvádí jako dusíkový produkt z nízkotlaké kolony. Odváděný dusíkový produkt má koncentraci dusíku alespoň 95% a má tlak alespoň 9 psig. Významný podíl tohoto dusíku o zvýšeném tlaku z destilační kolony isentropicky expanduje v expandéru při kryogenní teplotě k vytvoření chlazení pro výrobu kapalného dusíku a/nebo kapalného kyslíku a/nebo kapalného argonu.

Zlepšení spočívá ve způsobu, jakým dusík o zvýšeném tlaku isentropicky expanduje v jednom nebo několika expandérech při kryogenní teplotě. Přednostně tato expanze probíhá některou z těchto dvou cest:

(1) dusíkový produkt odváděný z nízkotlaké kolony dvoukolonového destilačního systému se částečně zahřívá výměnou tepla proti vhodnému proudu způsobu, tento dusík z nízkotlaké kolony částečně ohřátý expanduje v expandéru, takže výsledkem této expanze je teplota expandovaného dusíku nižší než teplota kapalných proudů, které se odvádějí z vysokotlaké kolony dvoukolonového destilačního systému a kapalně proudy odváděné z vysokotlaké kolony se podchladí výměnou tepla proti isentropicky expandovanému dusíku

před isentalpickým snížením tlaků takových kapalných proudů ventilem, nebo (2) dusíkový produkt odváděný z nízkotlaké kolony dvoukolonového destilačního systému se částečně zahřívá výměnou tepla proti vhodnému proudu způsobu, tento dusík z nízkotlaké kolony částečně ohřátý expanduje v expandéru, takže výsledkem této expanze je teplota expandovaného dusíku nižší než teplota rosného bodu přiváděného vzduchu do dvoukolonového destilačního systému a přiváděný vzduch se ochladí a částečně kondenzuje výměnou tepla proti isentropicky expandovanému dusíku.

Výše uvedené dva způsoby expanze mohou být kombinovány a je možné užít dvou nebo více expandérů pro expanzi proudů dusíku zvýšeného tlaku.

Jiná myšlenka vynálezu spočívá v oddělené výrobě regeneračního proudu lože čistícího vzduch z jiných dusíkových produktů vyrobených v cyklu se zvýšeným tlakem. Tento regenerační proud může být získán expanzí z dusíkového produktu z vysokotlaké kolony nebo z dusíkového produktu z nízkotlaké kolony. Je několik cest k zařazení těchto dvou způsobů výroby regeneračního proudu do cyklu.

Obr.1 až 8 a obr.10 jsou vývojové diagramy znázorňující některá možná provedení způsobu podle ~~...~~ vynálezu. Provedení znázorněna na obr.1 až 4 jsou označena jako cykly LEP, SEP, BEP a EP.

Provedení podle obr.1 až 8 a 10 mají četné společné části. Pro usnadnění pochopení budou tyto části, které představují primární kryogenní destilační úsek cyklů, popsány nejdříve. Stlačený přiváděný vzduch, ze kterého byly odloučeny všechny látky obsahující částice, voda, oxid uhličitý a jiné složky, které mrznou při kryogenních teplotách, se vede do hlavního výměníku 900 tepla potrubím 101, aby se ochladil na teplotu blízkou jeho rosnému bodu. Tento ochlazený vzduch se potom vede potrubím 110 do vysokotlaké kolony 902 pro rektifikaci na vysokotlakou dusíkovou horní frakci a kapalnou spodní frakci bohatou kyslíkem.

Část vysokotlaké dusíkové horní frakce se odvede z vysokotlaké kolony 902 potrubím 120 a úplně zkondenzuje ve vařáku-chladiči 912 umístěném ve spodním konci nízkotlaké kolony 904 proti kapalnému vroucímu kyslíku. Úplně zkondenzovaný vysokotlaký kapalný dusík se odvede z vařáku-chladiče 912 potrubím 122 a rozštěpí se ve dvě části. První část se vrátí do horního konce vysokotlaké kolony 902 potrubím 124 jako kapalný reflux. Druhá část

v potrubí 3 se podchladí a destiluje. Výsledná kapalná část se z procesu odvede potrubím 400 jako kapalný dusíkový produkt, zbývající část vysokotlaké dusíkové horní frakce se odvede z vysokotlaké kolony 902 potrubím 135, ohřeje se ve hlavním výměníku 900 tepla pro rekuperaci chlazení a odvede se jako vysokotlaký dusíkový produkt potrubím 139.

Kapalné spodní frakce bohaté kyslíkem se odvádějí z vysokotlaké kolony 902 potrubím 5, podchladí se, destilují a potom se vedou potrubím 54 do vhodného místa nízkotlaké kolony 904 pro destilaci na dusíkové nízkotlaké horní frakce a kapalné kyslíkové spodní frakce.

Alespoň část kapalně kyslíkové spodní frakce se odpařuje ve vařáku-chladiči 912 pro zajištění varu pro nízkotlakou kolonu 904. Zbývající část kapalně kyslíkové spodní frakce může být z nízkotlaké kolony 904 odváděna potrubím 117 a podchlazena, čímž se vyrábí v potrubí 500 kapalný kyslíkový produkt. Část odpařeného kyslíku z vařáku-chladiče 912 se odvádí z nízkotlaké kolony 904 potrubím 195 a ohřívá se v hlavním výměníku 900 tepla pro rekuperaci chlazení, čímž se vyrábí plynný kyslíkový produkt v potrubí 194. Tento plynný kyslíkový produkt v potrubí 194 může být dále stlačován k dosažení žádaného tlaku. Tento stlačovací postup není znázorněn.

Provedení vynálezu znázorněná na obrázcích také vyrábějí čistý kapalný argonový produkt. Pro tento účel se potrubím 66 odvádí boční proud páry obsahující argon ze středního a vhodného místa nízkotlaké kolony 904 a vede se do spodního konce argonové kolony 906 pro rektifikaci na argonovou horní frakci obsahující méně než 5000 vppm kyslíku a kapalnou spodní frakci obsahující argon. Kapalná spodní frakce obsahující argon se odvádí z argonové kolony potrubím 65 a štěpí se ve dvě části. První část v potrubí 63 se kondenzuje ve vařáku-chladiči 908 a vrací se do horního konce argonové kolony 906 jako kapalný reflux. Druhá část v potrubí 64 se čistí v adsorbéru 910, čímž se vyrábí čistý argonový produkt. Tento čistý argonový produkt v potrubí 62 se potom kondenzuje ve vařáku-chladiči 908, podchladí se a odvede se z postupu jako čistý kapalný argonový produkt potrubím 600. Je třeba uvést, že proud argonového produktu může být čistěn technologiemi jinými než výše zmíněné adsorpční technologie. Příklady těchto jiných technologií jsou systémy

"de-oxo" nebo "getter" pro odlučování kyslíku a destilace pro odlučování dusíku. Vařák-chladič 908 je umístěn v nízkotlaké koloně mezi místem odvádění bočního proudu potrubím 66 a přívodním potrubím 54 kapaliny bohaté kyslíkem. Přesné umístění je zvoleno tak, aby bylo zajištěno dostatečné chlazení pro požadovanou kondenzaci. Ve vařáku-chladiči 908 je chlazení zajištěno varem kapaliny sestupující nízkotlakou kolonou 904, čímž se vytvoří přídatný var pro horní oddíly nízkotlaké kolony 904. Je třeba uvést, že jsou známá i jiná schemata pro přivádění refluxu pro argonovou kolonu 906. Tak například část argonové horní frakce v potrubí 63 může být kondenzována proti části kapalné kyslíkové spodní frakce v potrubí 2.

Nakonec, pro zajištění kapalného refluxu pro nízkotlakou kolonu 904 se odvádí kapalný boční proud chudý kyslíkem potrubím 4 ze středního místa vysokotlaké kolony 902, podchladí se, destiluje a vede potrubím 80 do nízkotlaké kolony 904.

Jak bylo uvedeno výše, zlepšení získané předloženým vynálezem je cesta proudu s vyšším obsahem dusíku v potrubí 130 vytvořeného u horního konce nízkotlaké kolony 904 použitého pro účinné vytvoření a rekuperaci chlazení. Toto použití bude nyní vysvětleno na základě několika specifických provedení.

Podle obr.1 v cyklu LEP je proud dusíku o zvýšeném tlaku v potrubí 130 vyvíjený u horního konce nízkotlaké kolony 904 ohříván, v podchladiči 918, výměnou tepla proti kapalnému proudu chudému kyslíkem v potrubí 4, který se odvádí ze středního místa vysokotlaké kolony 902 a vede se jako kapalný reflux potrubím 80 do nízkotlaké kolony 904, a proud kapalného dusíku v potrubí 2, a v podchladiči 914 proti kyslíkem bohaté kapalné spodní frakci v potrubí 2. Tento ohřátý proud dusíku v potrubí 133 se potom štepí ve dvě části. První část v potrubí 143 isentropicky expanduje v expandéru 920 a expandovaná substance v potrubí 242 a pára v potrubí 398 z destilace kapalného dusíku v potrubí 2 se skládají. Tento složený proud v potrubí 241 se použije k podchlazení kapalné spodní frakce bohaté kyslíkem v potrubí 2 v podchladičích 914 a 916. Druhá část v potrubí 134 se dále ohřívá ve hlavním výměníku 900 tepla a expanduje v expandéru 922. Substance z expandéru v potrubí 2 se skládá s ohřátým dusíkem z podchladiče 914 v potrubí 144. Tento složený nízkotlaký

dušík v potrubí 147 se ohřívá ve hlavním výměníku 900 tepla pro rekuperaci chlazení a odvádí se z procesu jako nízkotlaký plyn-  
ný dusíkový produkt potrubím 148. Tento proud nízkotlakého plyn-  
ného dusíkového produktu v potrubí 148 může být použit pro mra-  
zení vody v odpadní věži, která není znázorněna.

Regenerační proud pro vzduch čistící lože molekulárních  
sít v potrubí 243 pro tento cyklus se odvádí jako boční proud  
z vysokotlaké kolony 902 potrubím 7. Je-li to žádáno, tento rege-  
nerační proud by mohl být také odváděn z horního konce vysokotla-  
ké kolony 902. Tento boční proud se ohřívá na vhodnou rozpínací  
teplotu ve hlavním výměníku 900 tepla, expanduje v expandéru 924  
a dále ohřívá ve hlavním výměníku 900 tepla pro rekuperaci chla-  
zení vytvářeného expanzí.

Podle obr.2 v cyklu SEP všechny dusík o vyšším tlaku v potru-  
bí 133 expanduje v expandéru 920. Zbývající část cyklu je v pod-  
statě stejná jako v obr.1.

Podle obr.3 v cyklu BEP se všechny dusík o zvýšeném tlaku  
v potrubí 133 dále ohřívá ve hlavním výměníku 900 tepla před  
expanzí v expandéru 922. Expandovaný dusík v potrubí 2 se skládá  
s dusíkovou párou v potrubí 398 z destilovaného kapalného dusí-  
ku v potrubí 3 a složený proud se ohřívá ve hlavním výměníku 900  
tepla pro rekuperaci chlazení.

Podle obr.4 v cyklu EP se ohřátý proud dusíku v potrubí  
133 štěpí ve dvě části. První část v potrubí 143 isentropicky  
expanduje v expandéru 920 a expandovaná substance v potrubí 242  
a pára v potrubí 398 z destilace kapalného dusíku v potrubí 3  
se spojují. Spojený proud v potrubí 241 se používá k podchlazení  
kyslíkem bohaté kapalně spodní frakce v potrubí 5 v podchladi-  
čích 916 a 914 potom se ohřeje ve hlavním výměníku 900 tepla  
pro rekuperaci chlazení a nakonec se odvádí jako nízkotlaký du-  
síkový produkt potrubím 148. Druhá část v potrubí 134 se dále  
ohřívá ve hlavním výměníku 900 tepla a stlačuje v kompresoru  
926. Tato ohřátá stlačená druhá část se ochlazuje ve hlavním  
výměníku 900 tepla na vhodnou expanzní teplotu a expanduje v ex-  
pandéru 924. Tento expandovaný proud v potrubí 243 se ohřívá  
pro rekuperaci chlazení a odvádí se jako regenerační proud loží  
molekulárních sít. Je třeba uvést, že žádný vysokotlaký dusík  
neexpanduje z vysokotlaké kolony 902. Tento cyklus je zvláště  
vhodný když žádaný produkt je argon.

Variace provedení znázorněného v obr.4 jako cyklus EP jsou znázorněny v obr.5 až 7. Tyto variace však nevyčerpávají všechny možné způsoby. Cykly znázorněné v obr.5 až 7 vyžadují tři expandéry. V těchto cyklech se podíl přiváděného vzduchu potrubím 930, typicky 5 až 20%, dále stlačuje v kompresoru 932 a potom ochlazuje ve hlavním výměníku 900 tepla. Ochlazený stlačený podíl se odvádí z hlavního výměníku 900 tepla v některém vnitřním místě nebo u spodního konce a expanduje isentropicky v expandéru 934. Expandovaný podíl přiváděného vzduchu v potrubí 936 může být složen s ochlazeným přiváděným vzduchem a veden potrubím 110 do vysokotlaké kolony 902 nebo přímo do nízkotlaké kolony 904. V obr.5 až 7 je tento expandovaný podíl přiváděného vzduchu v potrubí 936 veden do vysokotlaké kolony 902.

V cyklu znázorněném v obr.5 se tento podíl v potrubí 930 chladí ve hlavním výměníku 900 tepla před expanzí, zatímco podíl dusíku o zvýšeném tlaku odpovídající asi 8 až 20% přiváděného vzduchu v potrubí 134 se ohřívá na okolní teplotu ve hlavním výměníku 900 tepla pro doplnění chlazení potřebného pro ochlazování přiváděného vzduchu v teplém konci hlavního výměníku 900 tepla. Tento ohřátý dusík se používá jako regenerační proud loží molekulárních sít.

V cyklu znázorněném v obr.6 expandovaný vzduch v potrubí 935 se vede do hlavního výměníku 900 tepla a dále se chladí před zavedením do vysokotlaké kolony 902, zatímco regenerační dusík v potrubí 134 ve množství 8 až 20% přiváděného vzduchu se odvádí ze hlavního výměníku 900 tepla před ohřátím na teplotu okolí a isentropicky expanduje v expandéru 924. Expandovaný dusík se vede do studeného konce hlavního výměníku 900 tepla.

V cyklu znázorněném v obr.7 podíl dusíku v potrubí 134 isentropicky expanduje v expandéru 924, ohřeje se v podchladiči 918 a ve hlavním výměníku 900 tepla a potom se použije jako regenerační proud. V obr.7 jsou vstupní teploty a tlaky do expandérů 920 a 924 stejné. Nicméně, protože výstupní proud z expandéru 920 není použit pro regeneraci loží molekulárních sít, je jeho tlak o 1 až 3 psi nižší než výstupní tlak z expandéru 924. Toto uspořádání umožňuje větší rekuperaci chlazení a tedy vyšší výrobu kapalných produktů. Expandovaný vzduch v potrubí 936 se vede do vysokotlaké kolony 902 bez dalšího chlazení.

V cyklu znázorněném v obr.8 všechny dusík o zvýšeném tlaku v potrubí 133 expanduje isentropicky po částečném ohřátí ve hlavním výměníku 900 tepla. Tato expanze probíhá v expandérech 920 a 924. Proud expandovaného dusíku v potrubích 242 a 925 se potom vedou do podchladiče 918 pro podchlazení kapalného proudu v potrubí 5 a potom se ohřejí ve hlavním výměníku 900 tepla. Po ohřátí na teplotu okolí proud expandovaný v expandéru 924, který obnáší 8 až 20% přivedeného vzduchu se použije jako regenerační proud v potrubí 243.

Cykly podle obr.5 až 8 jsou mnohem výhodnější než cyklus podle obr.4 s ohledem na spotřebu energie a plochu výměníku. Kromě toho cyklus podle obr.7 dává více dusíkového kapalného produktu bez vážného ohrožení rekuperace kyslíku a argonu. Je-li žádáno více kapaliny, cyklus podle obr.8 je rovněž výhodnější. Kompresor 932 je poháněn vzduchovým expandérem 934 nebo dusíkovým expandérem 920 nebo 924 nebo některou jejich kombinací. Není-li důležitým výkonem rekuperace argonu potom v obr.5 až 8 podíl expandovaného přiváděného vzduchu může být přiváděn přímo do neznázorněné nízkotlaké kolony 904. Takový příklad je znázorněn v obr.10, kde podíl expandovaného vzduchu se vede přímo do nízkotlaké kolony 904. Také v tomto obrázku jsou vzduchový expandér a kompresor 932 mechanicky spojeny aby tvořily komandér.

Všechna výše popsaná provedení byla popsána s ohledem na cykly, které vyrábějí argon. Jsou však užitečná i když se v rozdělovacím zařízení ze vzduchu žádný argon nevyrábí.

#### Příklad

Byly provedeny simulace na počítači pro provedení znázorněná v obr.1 až 4. Specifikace výrobku pro simulace v tomto příkladu jsou uvedeny v tabulce 1.

Tabulka 1

Název výrobku	Výkon tun za den	Tlak psia
Plynný kyslík	2531	805
Kapalný kyslík	64	---
Plynný dusík	1,51	> 65
Kapalný dusík	255,35	---
Kapalný argon	Maximum	---

Čistota: Kyslík: >95 mol% kyslíku, dusík: <2 vppm kyslíku

Tabulka 2							
Cyklus	Vyrobené množství		MAC výstupní tlak psia				
	Kyslík	Argon					
Vzd. komp.	20.92	79.28	78.6				
LEP	20.95	80.72	112.8				
SEP	20.95	78.70	121.2				
BEP	20.95	74.52	109.9				
EP	20.95	95.89	121.9				
Spotřebovaný výkon : KW (**)							
Cyklus	MAC	Kysl. komp.	Dus. boost.	Regen. bocst.	Kap. +	Exp. ++	Celk.
Vzd. komp	24,667	11,075	--	856	4,875	--	41,473
LEP	29,941	10,455	--	723	--	-1,705	39,414
SEP	30,995	9,900	--	723	--	-1,708	39,911
BEP	29,549	10,585	--	723	--	-1,691	39,166
EP	31,078	10,087	2,411	723	--	-1,761	42,537
Poznámky: +Výpočet energie zkapalovače: 390 kW/T kapaliny/hod pro Vzd. komp. který potřebuje zkapalovač pro výrobu kapaliny, dusíku a kapalného dusíku a kapalného kyslíku ++ Účinnost expandéru=0,85, mechanická účinnost=0,95, účinnost generátoru=0,97							
** Základ pro výpočty výkonů							
Kompresor	Teplota komprese °F	Isotermická účinnost kompresoru %	Účinnost motoru %				
MAC	55	69.5	97				
Kysl. komp.	51.5	65	95				
Dusík. booster	51.5	65	95				
Vzd. booster	51.5	69.5	95				

Tabulka 3

Cyklus LEP (obr.1)						
Číslo proudu	101	194	139	148	243	143
Tok:% vzduchu	100	20.45	0.014	65.05	10.7	34.7
Teplota: °F	55.0	51.5	51.5	51.5	51.5	-274.5
Tlak: psia	109.4	30.3	104.6	15.1	16.7	30.3
Číslo proudu	8	20	4	5	130	
Tok:% vzduchu	30.00	10.87	31.63	54.80	64.65	
Teplota: °F	-245.9	-134.6	-281.1	-273.0	-308.1	
Tlak: psia	29.8	106.0	106.4	107.1	30.6	

Cyklus SEP (obr.2)					
Číslo proudu	101	194	139	148	243
Tok:% vzduchu	100	20.45	0.014	65.06	10.86
Teplota: °F	55.0	51.5	51.5	51.5	51.5
Tlak: psia	117.7	33.4	113.0	15.1	16.7
Číslo proudu	143	20	4	5	130
Tok:% vzduchu	64.80	10.86	31.90	54.62	64.77
Teplota: °F	-275.0	-172.9	-279.2	-270.9	-306.3
Tlak: psia	33.5	114.4	114.8	115.5	37.8

Cyklus EEP (obr.3)					
Číslo proudu	101	194	139	148	243
Tok:% vzduchu	100	20.45	0.014	65.08	10.87
Teplota: °F	55.0	51.5	51.5	51.5	51.5
Tlak: psia	106.4	29.2	101.6	15.1	16.8
Číslo proudu	143	20	4	5	130
Tok:% vzduchu	64.40	10.87	30.89	55.52	64.67
Teplota: °F	-249.0	-141.3	-281.9	-273.9	-308.8
Tlak: psia	28.7	103.0	103.5	104.2	29.5

Tabulka 2 obsahuje srovnání různých cyklů. Provedení znázorněná v obr.1 až 4 jsou označena jako cykly LEP, SEP, BEP a EP. Vzd. komp. je obvyklý nízkotlaký cyklus se vzduchovým kompendem, ve kterém proud mrazící vodu i regenerační proud jsou vytvářeny přímo z nízkotlaké kolony. Tento běžný cyklus je znázorněn v obr.9. Nízkotlaký cyklus Vzd. komp. vyžaduje zkapalňovač pro zkapalnění kyslíku a dusíku pro vytváření žádaných kapalných produktů. Viz poznámku k tabulce 2. Zkapalňovač není na obr.9 znázorněn. V tabulce 2 je vyrobené množství kyslíku definováno jako počet molů kyslíku vyrobených na 100 molů vzduchu přivedeného do systému destilačních kolon. Vyrobené množství argonu je definováno jako procentní množství vyrobeného argonu, které je přítomné ve vzduchu přivedeném do systému destilačních kolon.

Z tabulky 2 je patrné, že cykly LEP, SEP a BEP se zvýšeným tlakem mají menší hodnoty spotřebovaného výkonu než cyklus Vzd. komp. Tyto hodnoty spotřebovaného výkonu jsou o 3,8 až 5,5% nižší než u obvyklého Vzd. komp. cyklu. Vyrobené množství argonu je pro cyklus LEP srovnatelné s cyklem Vzd. komp. a je nepatrně nižší pro cykly SEP a BEP. Úspory investic a spotřebované energie však zdaleka překročí pokles výroby argonu. Cyklus EP má vyšší spotřebu výkonu při velmi vysoké výrobě argonu. Provozní podmínky pro některé významné proudy pro cykly LEP, SEP a BEP jsou uvedeny v tabulce 3.

Jak plyne z výše uvedeného vysvětlení, předložený vynález pracuje s expanzí proudu dusíku vyvinutého v nízkotlaké koloně zařízení pro rozdělení vzduchu používajícího cyklus se zvýšeným tlakem při správných teplotách a používajícího chlazení vyvinuté z expandovaného proudu ve vhodném místě procesu, přičemž energie tohoto proudu dusíku může být použita k výrobě kapalných produktů účinným způsobem s minimálním zvýšením investic. Vyvíjením regeneračního proudu z odděleného expandéru jsou expanzní poměry expandérů optimalizovány, takže je optimalizována energie stlačení vzduchu.

Ve všech provedeních znázorněných na výkresech se proud dusíku odvádí z horního konce nízkotlaké kolony 904 a vhodným způsobem expanduje pro rekuperaci chlazení. Alternativně by tento proud mohl být odváděn z některého vhodného místa v rektifikační sekci nízkotlaké kolony 904. V takovém případě může být proud bohatý dusíkem odváděn z horního konce nízkotlaké kolony 904

a použit jako proud produktu. Dále může být v takovém případě část kapalného dusíkového proudu v potrubí 3 z horního konce vysokotlaké kolony 902 použita k vytvoření kapalného refluxu do nízkotlaké kolony 904.

Předložený vynález má významný příznivý účinek tím, že vytváří účinné cesty pro výrobu kapalného produktu z vnitřní tlakové energie proudu dusíku vyráběného nízkotlakou kolonou v cyklu se zvýšeným tlakem zařízení k rozdělení vzduchu. V předloženém vynálezu je rozdělení vzduchu a výroba kapaliny spojeno velmi účinným způsobem. Způsob rozdělení vzduchu s cyklem o zvýšeném tlaku podle předloženého vynálezu zmenšuje rozměry zařízení, ztráty úbytku tlaku a spotřebu regenerační energie loží molekulárních sít čistění vzduchu při vyvíjení kapalných produktů z tlakové energie dusíkového produktu. Způsob podle předloženého vynálezu také odstraňuje potřebu zvláštních kompresorů, výměníků tepla a jiného zařízení samostatného zkapalňovače. Účinná cesta k dosažení tohoto cíle předpokládá, že takové cykly jsou nadřazeny jiným cyklům nejen co do investic, ale i do energetické účinnosti. Takové účinné kombinace rozdělení vzduchu při zvýšení tlaku a zkapalnění mají být zvoleny pro rozdělení vzduchu když jsou také požadovány kapalné produkty. Stejná myšlenka je také použitelná pro jiné kryogenní způsoby rozdělení plynů. Je třeba uvést, že ačkoliv takové cykly samotné budou mít obtíže při výrobě velkých množství kapalných produktů ve vztahu ke přiváděnému vzduchu, například více než 10% přiváděného vzduchu, kombinace takových cyklů se zkapalňovači vždy dává optimální účinnost a investice.

Výše popsaná provedení předloženého vynálezu nevyčerpala možné kombinace. Tato provedení tedy nepředstavují omezení rozsahu myšlenky vynálezu vyjádřené následujícími patentovými nároky.

PRIL. PRO VYNALEZY A OBJEVY	ÚŘAD PRO VYNALEZY A OBJEVY	09. VI. 92	031742	PV 4455-92
				č. j.

1. Kryogenní způsob rozdělení proudu vzduchu na jeho složky, který využívá systému destilačních kolon majícího alespoň dvě destilační kolony, vysokotlakou destilační kolonu a nízkotlakou destilační kolonu, které jsou ve vzájemném tepelném spojení, kde nízkotlaká kolona pracuje při tlaku od ~~9 do 75 psig~~ <sup>62,05 kPa do 517,1 kPa</sup>, a vyrábí dusíkový produkt, kde alespoň 50% přiváděného vzduchu do systému destilačních kolon se odvádí z nízkotlaké kolony jako dusíkový produkt, a kde dusíkový produkt má koncentraci dusíku alespoň 95% a tlak alespoň ~~9 psig~~ <sup>62,05 kPa</sup>, vyznačující se tím, že obsahuje kroky (a) částečné ohřátí dusíkového produktu výměnou tepla s vhodným proudem způsobu, (b) isentropickou expanzi tohoto částečně ohřátého dusíkového produktu v expandéru, takže výsledkem této expanze je teplota expandovaného dusíku nižší než teplota proudů kapalin, které se odvádějí z vysokotlaké kolony a (c) podchlazení kapalného proudu odváděného z vysokotlaké kolony výměnou tepla proti isentropicky expandovanému dusíku před isentropickou redukcí tlaků takových kapalných produktů ventilem.

2. Kryogenní způsob rozdělení proudu vzduchu na jeho složky, který využívá systému destilačních kolon majícího alespoň dvě destilační kolony, vysokotlakou destilační kolonu a nízkotlakou destilační kolonu, které jsou ve vzájemném tepelném spojení, kde nízkotlaká kolona pracuje při tlaku od ~~9 do 75 psig~~ <sup>62,05 do 517,1 kPa</sup>, a vyrábí dusíkový produkt, kde alespoň 50% přiváděného vzduchu do systému destilačních kolon se odvádí z nízkotlaké kolony jako dusíkový produkt, a kde dusíkový produkt má koncentraci dusíku alespoň 95% a tlak alespoň ~~9 psig~~ <sup>62,05 kPa</sup>, vyznačující se tím, že se kapalně produkty vyrábějí kroky (a) částečným ohřátím dusíkového produktu výměnou tepla s vhodným proudem způsobu, (b) isentropickou expanzí částečně ohřátého dusíkového produktu v expandéru, čímž je teplota expandovaného dusíku na nebo pod rosným bodem přiváděného vzduchu do dvoukolonového destilačního systému, a (c) ochlazením přiváděného vzduchu výměnou tepla proti isentropicky expandovanému dusíku.

3. Kryogenní způsob rozdělení proudu vzduchu na jeho složky, který využívá systému destilačních kolon majícího alespoň dvě destilační kolony, vysokotlakou destilační kolonu a nízkotlakou destilační kolonu, které jsou ve vzájemném tepelném spojení, kde nízkotlaká kolona pracuje při tlaku od ~~9 do 75 psig~~ <sup>62,05 do 517,1 kPa</sup>, a vyrábí

dusíkový produkt, kde alespoň 50% přiváděného vzduchu do systému destilačních kolon se odvádí z nízkotlaké kolony jako dusíkový produkt, a kde dusíkový produkt má koncentraci dusíku alespoň 95% a tlak alespoň ~~9 psig~~ <sup>62,05 kPa</sup>, vyznačující se tím, že obsahuje kroky (a) částečné ohřátí dusíkového produktu výměnou tepla s vhodným proudem způsobu, (b) rozdělení částečně ohřátého dusíkového produktu do prvního a druhého dílčího proudu, (c) isentropickou expanzi prvního dílčího proudu v expandéru, což má za následek snížení teploty prvního dílčího proudu na teplotu nižší než je teplota kapalných proudů, které se odvádějí z vysokotlaké kolony, (d) podchlazení kapalných proudů odváděných z vysokotlaké kolony výměnou tepla proti isentropicky expandovanému prvnímu dílčímu proudu před isentropickou redukcí tlaků takových kapalných proudů ventilem, (e) ohřátí druhého dílčího proudu výměnou tepla proti vhodnému proudu způsobu, (f) isentropickou expanzi tohoto částečně ohřátého druhého dílčího proudu v expandéru, takže výsledek této expanze je snížení teploty expandovaného druhého dílčího proudu pod rosný bod přiváděného vzduchu do dvoukolonového destilačního systému, a (g) ochlazení přiváděného vzduchu výměnou tepla proti isentropicky expandovanému prvnímu i druhému dílčímu proudu.

4. Způsob podle ~~č. 2~~ <sup>č. 2</sup>, vyznačující se tím, že ochlazení přiváděného vzduchu výměnou tepla s isentropicky expandovaným dusíkovým produktem kroku (c) také částečně kondenzuje proud přiváděného vzduchu.

5. Způsob podle ~~č. 3~~ <sup>č. 3</sup>, vyznačující se tím, že chlazení přiváděného vzduchu výměnou tepla s isentropicky expandovaným druhým dílčím proudem z kroku (g) také částečně kondenzuje proud přiváděného vzduchu.

6. Způsob podle ~~č. 3~~ <sup>č. 3</sup>, vyznačující se tím, že před isentropickou expanzí se druhý dílčí proud stlačí a potom ochladí.

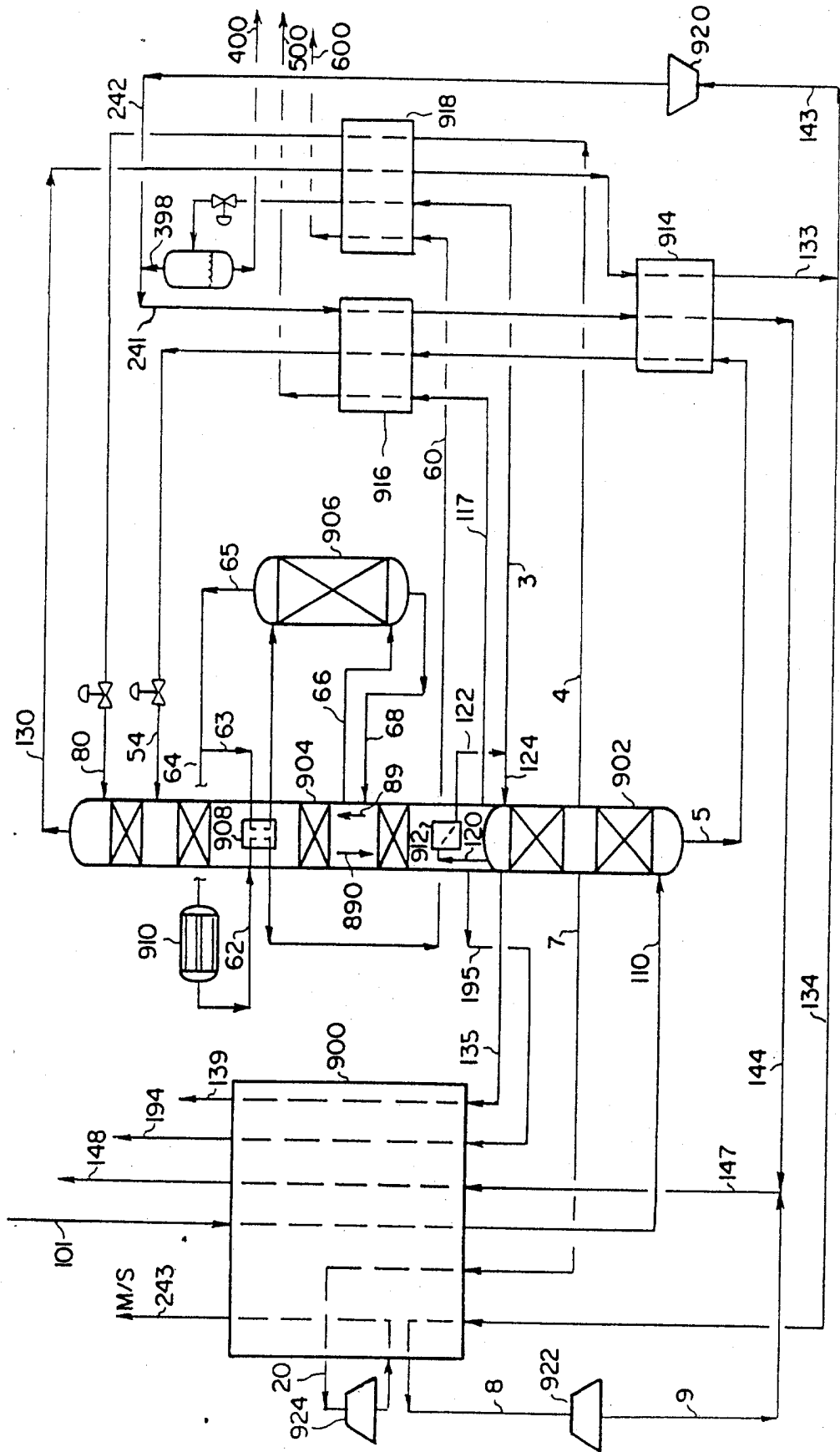
7. Způsob podle č. 3, vyznačující se tím, že alespoň část ohřátého isentropicky expandovaného druhého dílčího proudu z kroku (g) se použije pro regeneraci loží molekulárního síta použitého k předběžnému čistění proudu přiváděného vzduchu.

8. Způsob podle ~~č. 3~~ <sup>č. 3</sup>, vyznačující se tím, že alespoň část isentropicky expandovaného prvního dílčího proudu z kroku (d) se použije pro regeneraci loží molekulárního síta použitého pro předběžné čistění proudu přiváděného vzduchu.

9. Způsob podle <sup>nároku</sup> bodu 1, vyznačující se tím, že část ohřátého dusíku z kroku (a) isentropicky expanduje v odděleném expandéru na tlak ~~o 1 až 3 psi~~ <sup>(6,895 kPa až 20,684 kPa)</sup> nižší než vypouštěcí tlak isentropicky expandovaného dusíku z kroku (b) a isentropicky expandovaná část se použije k regeneraci loží molekulárních sít použitých pro předběžné čišění proudu přiváděného vzduchu.

10. Způsob podle <sup>nároku</sup> bodu 2, vyznačující se tím, že část ohřátého dusíku z kroku (a) isentropicky expanduje v odděleném expandéru na tlak ~~o 1 až 3 psi~~ <sup>(6,895 až 20,684 kPa)</sup> nižší než vypouštěcí tlak isentropicky expandovaného dusíku z kroku (b) a isentropicky expandovaná část se použije pro regeneraci loží molekulárních sít použitých pro předběžné čišění proudu přiváděného vzduchu.

*Zestupuje*

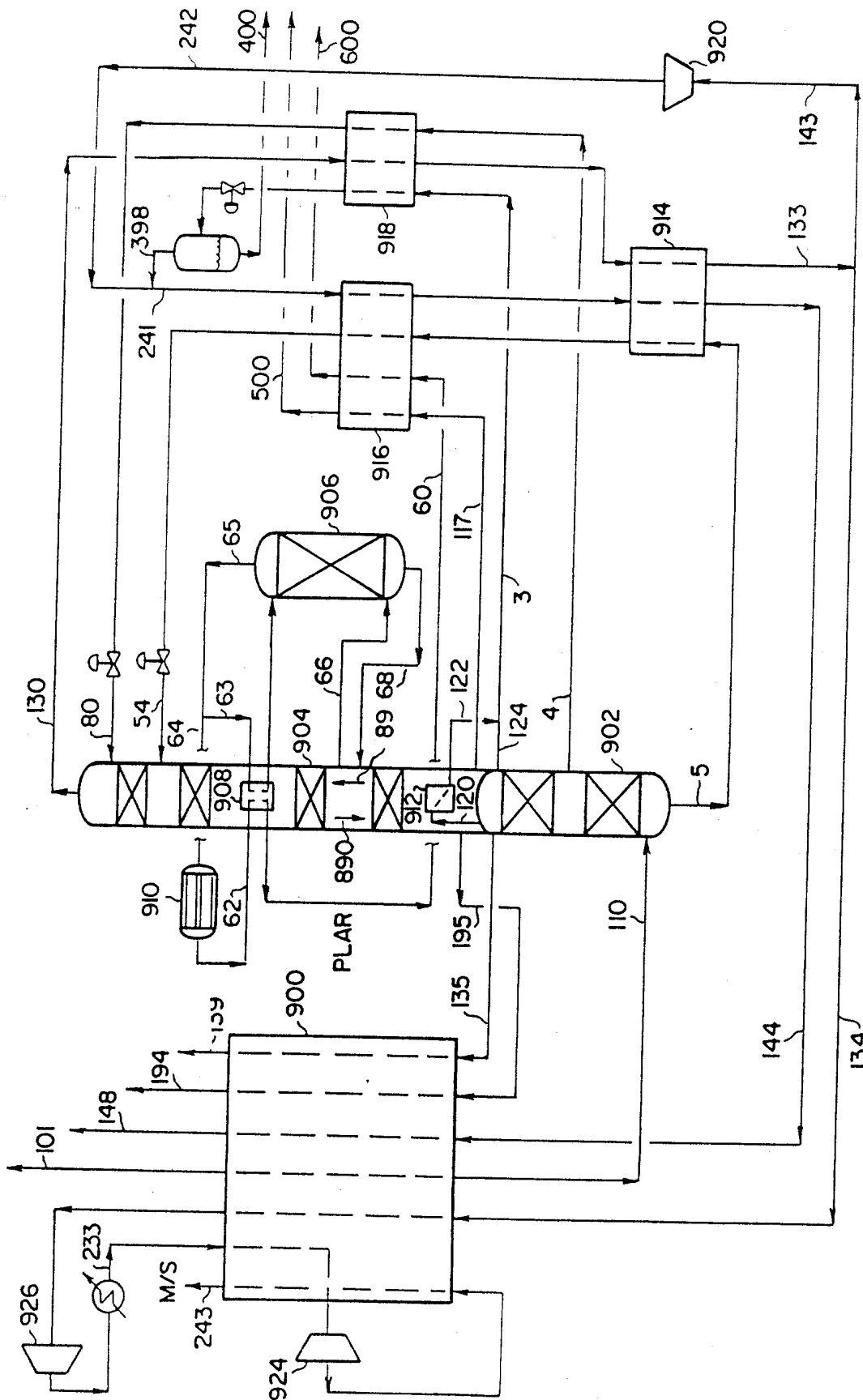


Obc. /





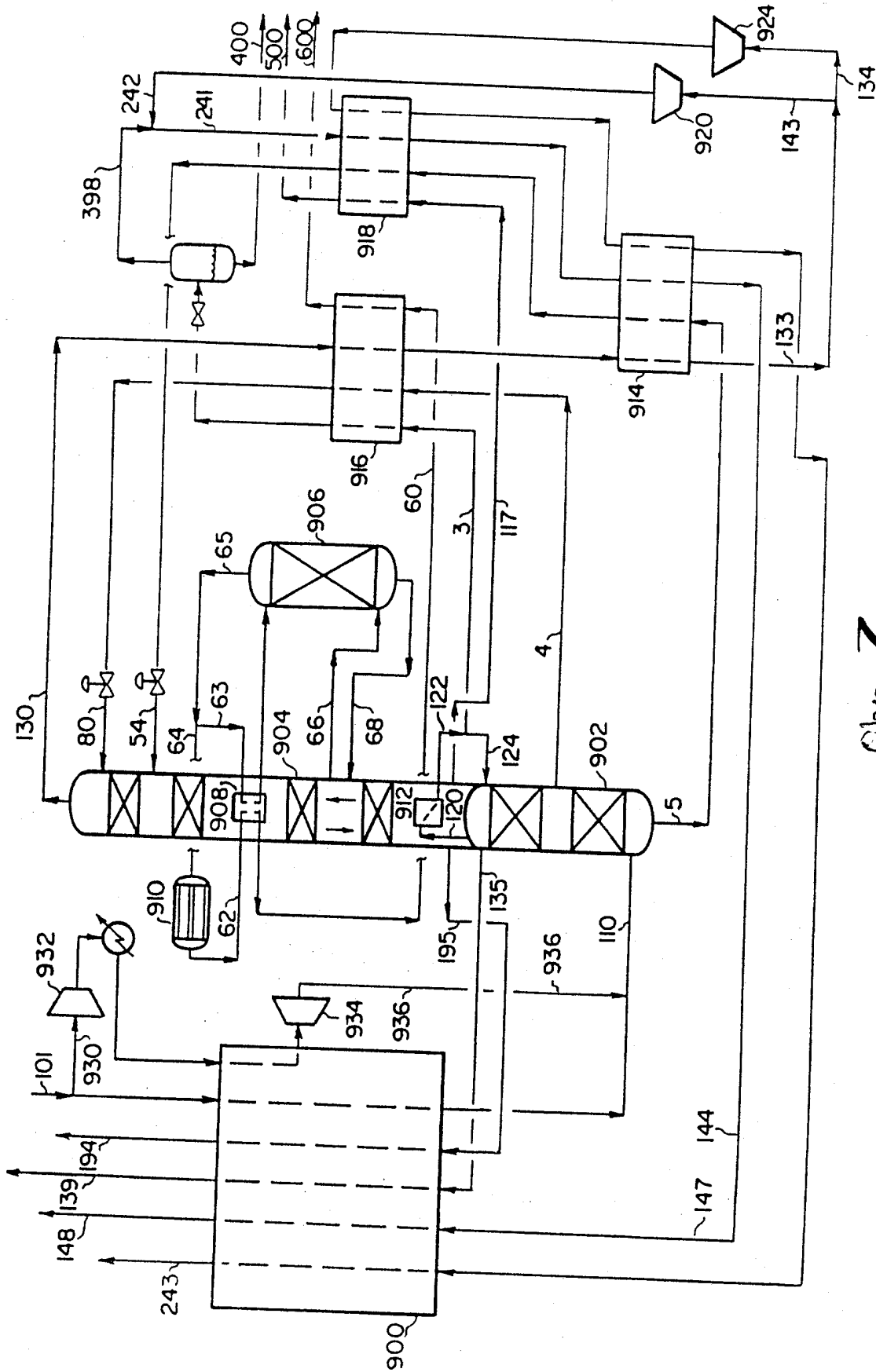
STAVBA  
1173  
1958



Obr. 4

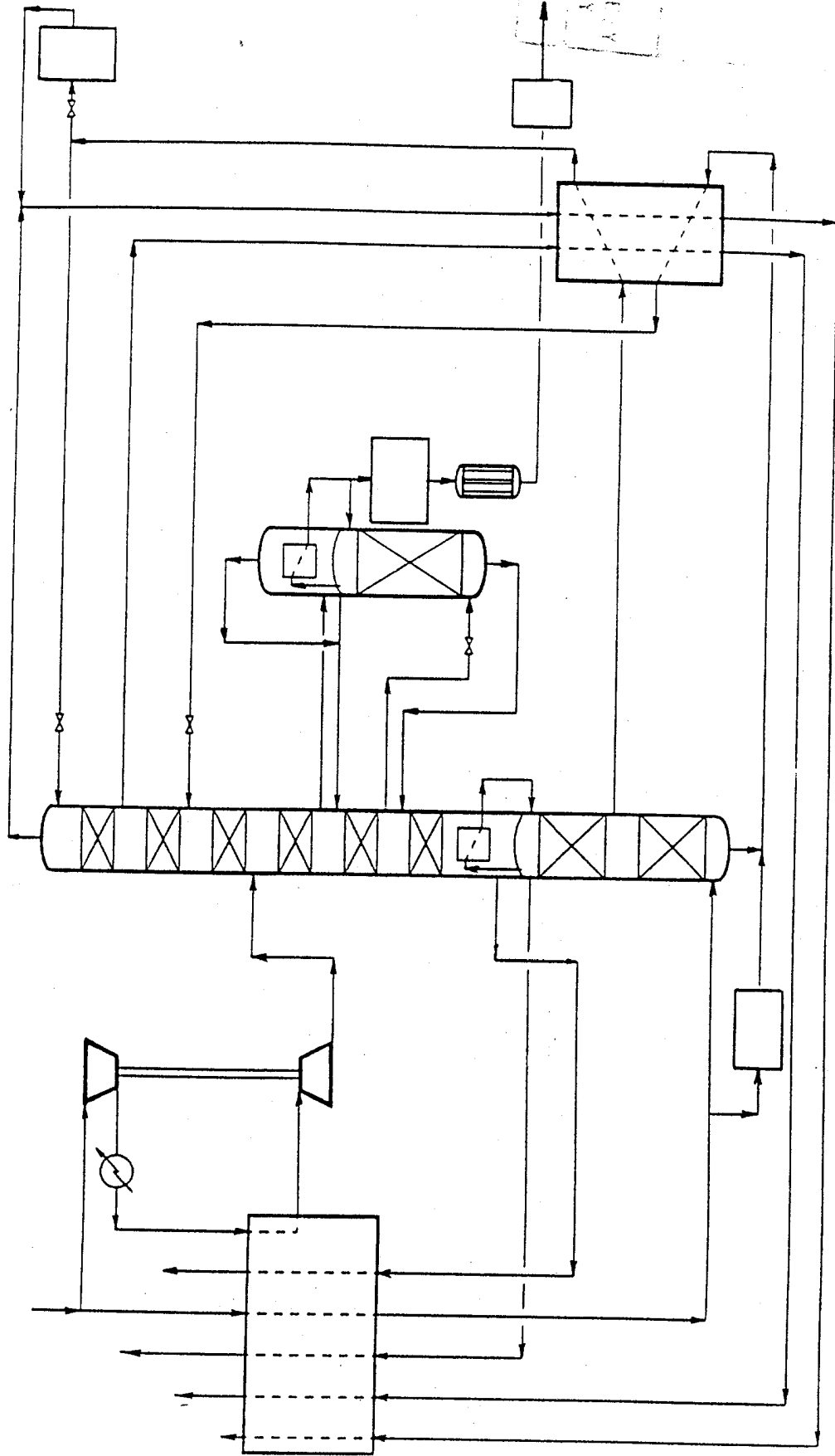






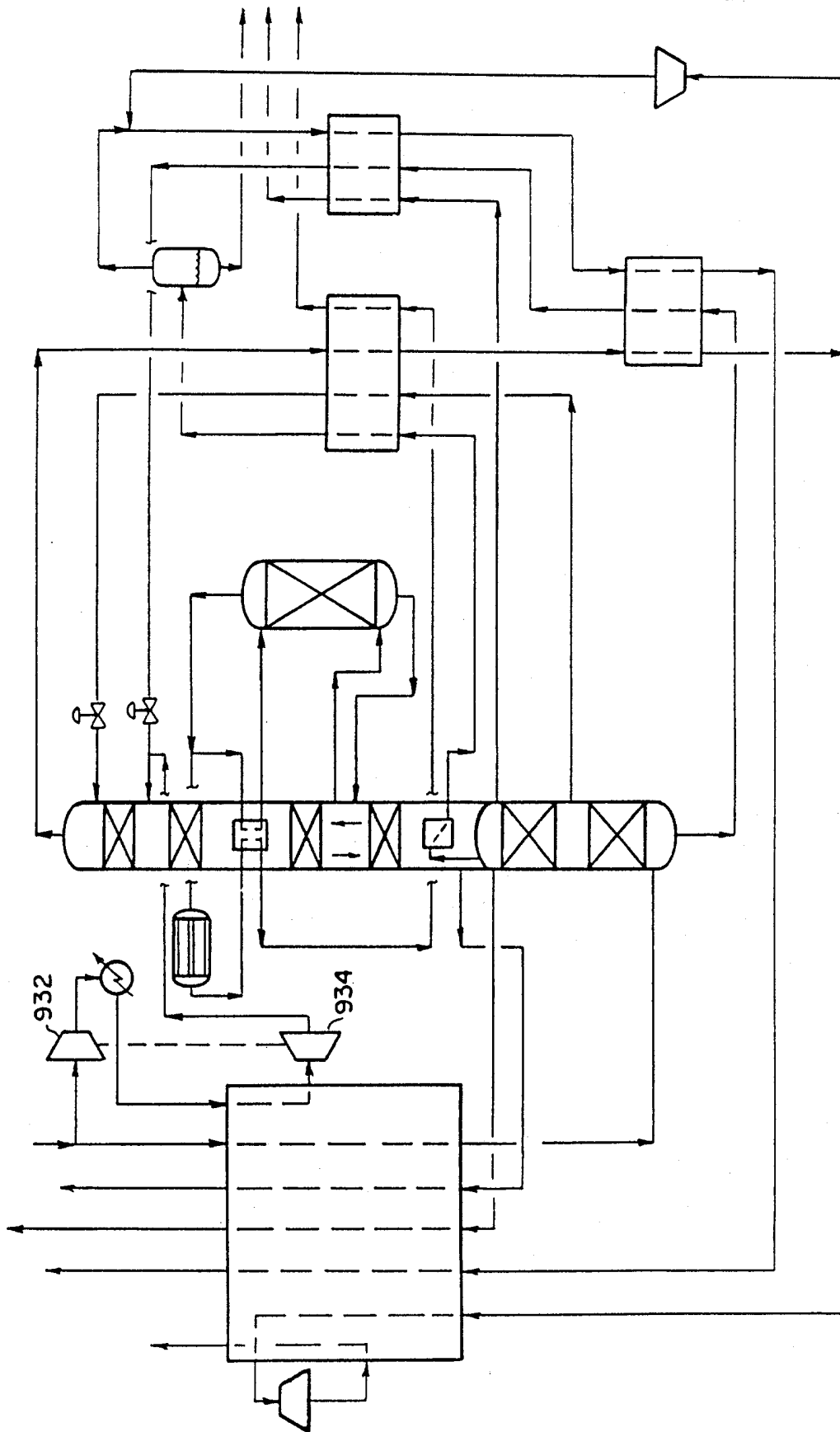
Obr. 7





Обр. 9

STAVBA  
17.11.1951  
OPJEVY



Obr. 10