



ÚŘAD PRO VYNÁLEZY
A OBJEVY

POPIS VYNÁLEZU K AUTORSKÉMU OSVĚDČENÍ

259921

(11)

(B1)

(51) Int. Cl.⁴

F 25 B 29/00

(22) Přihlášeno 22 12 86

(21) PV 9720-86.D

(40) Zveřejněno 15 03 88

(45) Vydáno 14 04 89

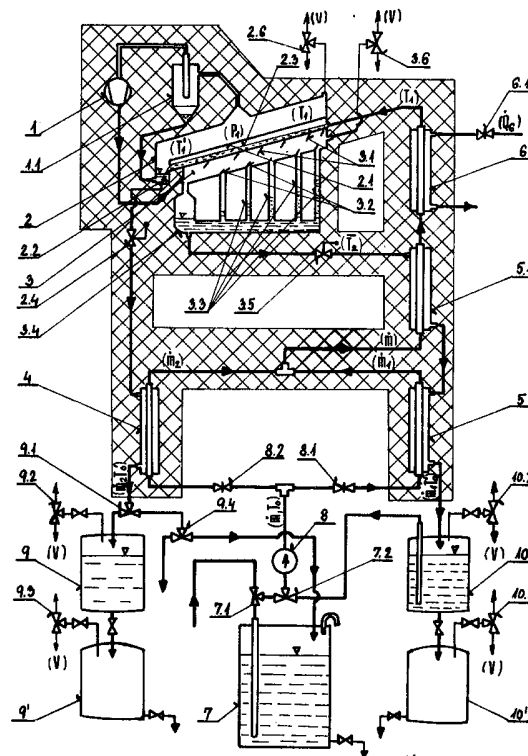
(75)

Autor vynálezu

JURAJDA DRAHOMÍR ing., KARLŠTEJN

(54) Zařízení pro kontinuální adiabatické zahušťování roztoků

Podstatou zařízení je to, že pracovní kompresor je sací větví napojen na odpařovací nádobou a výtlačnou větví na vstup do kondenzátoru rozpouštědla přichyceného ke dnu varného žlabu. Dopravní čerpadlo zahušťované kapaliny je výtlačnou větví napojeno přes systém protiproudých výměníků na vstup do varného žlabu a vývod zahuštěné kapaliny je vyveden přes protiproudý výměník do zásobní nádrže. Odvod kondenzátu ze směrné nádoby je vyveden přes protiproudé výměníky do zásobní nádrže kondenzátu. Při tom pracovní kompresor, odpařovací nádoba s integrovaným kondenzátorem a sběrnou nádobou i všechny protiproudé výměníky jsou od vnějšího okolí tepelně izolovány.



Vynález se týká zařízení pro kontinuální adiabatické zahušťování roztoků a řeší problém totálního využití kondenzačního tepla odpařované kapaliny pro vlastní technologický proces.

Zahušťování roztoků odpařováním rozpouštědla, především v případě vodných roztoků, je proces energeticky velmi náročný a možnosti následného využití kondenzačního tepla odpařené kapaliny jsou především v letním období ve většině průmyslových podniků omezené. V řadě racionálně řešených chemických nebo potravinářských provozů se sice část kondenzačního tepla získá v protiproudých výměnících a využívá např. pro předehřev surovin pro jiný technologický proces. Značná část tepla uvolněného při kondenzaci odpařené kapaliny, někdy i všechno teplo však odchází z provozu do okolního prostředí jako tzv. odpadní, nízkopotenciální nevyužitelné teplo. Ze známých případů, kde se podstatná část kondenzačního tepla uvolněného v zařízení využívá pro vlastní technologický proces, je možno jmenovat především destilační kolony a jeden ze známých postupů přípravy pokrmů - dušení.

Problém totálního využití kondenzačního tepla kapalin odpařených při vlastním technologickém procesu řeší zařízení pro kontinuální adiabatické zahušťování roztoků podle vynálezu. Zařízení sestává z odpařovací nádoby, pracovního kompresoru s kondenzátorem par odpařené rozpouštědla, dopravního čerpadla zahušťované kapaliny, systému protiproudých výměníků pro předehřev zahušťované kapaliny a zásobních nádrží zahušťované a zahuštěné kapalin i kondenzátu rozpouštědla. Podstata vynálezu spočívá v tom, že pracovní kompresor je sací větví napojen na odpařovací nádobu a výtlačnou větví na vstup do kondenzátoru par rozpouštědla přichýčeného ke dnu varného žlabu odpařovací nádoby.

Dopravní čerpadlo zahušťované kapaliny je výtlačnou větví napojeno přes systém protiproudých výměníků na vstup do varného žlabu odpařovací nádoby. Vývod zahuštěné kapaliny ze sběrné jímký je napojen přes protiproudý výměník pro ohřev zahušťované kapaliny do zásobní nádrže zahuštěné kapaliny. Odvod kondenzátu rozpouštědla ze sběrné nádoby je napojen přes druhou větev protiproudých výměníků do zásobní nádrže. Při tom pracovní kompresor, odpařovací nádobu s integrovaným kondenzátorem a sběrnou nádobou kondenzátu i všechny protiproudé výměníky jsou od vnějšího okolí tepelně izolovány.

Výhodou zařízení podle vynálezu je to, že potřeba energie pro vlastní zahušťování je minimálně desetkrát nižší než u zahušťovacích zařízení soudobých typů, možnost odpařovat rozpouštědlo za sníženého tlaku, dále to, že při jedné technologické operaci se získá jak žádaná zahuštěná kapalina, tak čisté rozpouštědlo.

Na obr. 1 je obecné schéma zařízení podle vynálezu, na obr. 2 je ve zjednodušeném schematickém řezu příklad jednoho z možných konstrukčních řešení odpařovací nádoby s integrovaným kondenzátorem par rozpouštědla.

Zařízení sestává z odpařovací nádoby 2, jejíž dno tvoří jeden nebo více varných žlabů 2.1 uspořádaných do spádu a ústících do jímký 2.2 zahuštěné kapaliny. Ke dnu odpařovací nádoby je přichycen kondenzátor 3 par rozpouštědla, napojený sérií trubek 3.3 dílčího svodu kondenzátu do sběrné nádoby 3.4. Na obr. 1 jsou schematicky zakresleny i skápavací plechy 3.1 kondenzátu na teplosměnné ploše mezi kondenzátorem a odpařovacím žlabem a přepážky 3.2 u jednotlivých trubek 3.3 dílčího svodu kondenzátu.

Pracovní kompresor 1 je sací větví napojen na odpařovací nádobu 2 přes odlučovač 1.1 kapek vroucí zahušťované kapaliny 2.3 stržených proudem par k sacímu otvoru. Výtlačná větev kompresoru (exhaustoru) 1 je napojena na vstup do kondenzátoru 3. Zahuštěná kapalina je ze sběrné jímký 2.2 vyvedena přes automatický odpouštěcí ventil 2.4 do protiproudého výměníku 4 a odtud do sběrné nádrže zahuštěné kapaliny. Kondenzát rozpouštědla je ze sběrné nádoby 3.4 vyveden přes samočinný odpouštěcí ventil 3.5 do protiproudého výměníku 5.1 a odtud přes protiproudý výměník 5 do sběrné nádrže 10 kondenzátu rozpouštědla. Zahušťovaná kapalina je ze zásobní nádrže 7 dopravována čerpadlem 8 přes paralelně napojené protiproudé výměníky 4 a 5 do výměníku 5.1 a odtud přes startovací a pomocný výměník 6 na vstup do varného žlabu 2.1.

Vzájemný poměr $\dot{m}_1:\dot{m}_2$ podílů zahušťované kapaliny protékající výměníky 4 a 5 je udržován regulačními šoupátky 8.1 a 8.2. Varná nádoba 2, kondenzátor 3, sběrné nádrže 9 a 10 jsou opatřeny kombinací uzavíracího a dvoucestného ventilu 2.6, 3.6, 9.2 a 10.2 pro zavzdušnění příslušné sekce zařízení nebo její napojení na pomocnou vývěvu před startem studeného zařízení.

Dvoucestné ventily 9.3 a 10.3 slouží pro evakuaci nádrží 9 a 10 před vypouštěním obsahu z nádrží 9 a 10 a naopak k jejich zavzdušnění před vypouštěním kapalin ze zařízení. Symbolem V je označeno připojení příslušných ventilů na pomocnou vývěvu (před startem studeného zařízení nebo před přepouštěním obsahu sběrných nádrží). Soubor dvoucestných ventilů 9.1, 9.4, 7.1 a 7.2 umožňuje nastavit jakoukoliv potřebnou kombinaci proudění kapalin mezi nádržemi 7, 9, 10 (např. při proplachování zařízení čisticí kapalinou z externího zdroje a jejím jímáním do nádrže 7, recirkulaci zahušťované kapaliny při startu studeného zařízení apod.).

Funkce zařízení je tato: Zahušťovaná kapalina 2.3 stéká samospádem varným žlabem 2.1 a teplem předávaným dnu varného žlabu kondenzátorem 3 je udržována ve varu. Pracovní kompresor (exhaustor) 1 nasává sytou suchou páru rozpouštědla přes odlučovač 1.1 stržených kapek vroucí kapaliny o střední teplotě $\bar{T}_1$ a komprimuje ji na tlak P_2 . Výtlačná větev kompresoru 1 je napojena na spodní vstup kondenzátoru 3, který je skapávacími plechy 3.1 a přepážkami 3.2 rozdělen do více sekcí, z nichž je samostatnými trubkami 3.3 dílčího svodu odváděn kondenzát rozpouštědla do sběrné nádoby 3.4.

Ze sběrné nádoby 3.4 je kondenzát o teplotě $\bar{T}_2$ odpouštěn automatickým ventilem 3.5 přes výměníky 5.1 a 5 do zásobní nádrže 10 kondenzátu. Zahuštěná kapalina o teplotě T_1 je z jímky 2.2 odpouštěna automatickým ventilem 2.4 přes protiproudý výměník 4 do zásobní nádrže 9. Dopravní čerpadlo 8 čerpá zahušťovanou kapalinu ze zásobní nádrže 7 přes paralelně spojené protiproudé výměníky 4 a 5 a odtud přes výměníky 5.1 a 6 na vstup do varného žlabu 2.1. Regulačními šoupátky 8.1 a 8.2 je nastavován poměr $\dot{m}_1:\dot{m}_2$, ($\dot{m}_1 + \dot{m}_2 = \dot{m}$), kde $\dot{m}_1$ je množství čerpané kapaliny protékající za jednotku času výměníkem 5, $\dot{m}_2$ množství čerpané kapaliny protékající výměníkem 4 a $\dot{m}$ je celkové množství kapaliny čerpané za jednotku času.

Na obr. 1 je naznačeno ideální možné seřízení průtoku oběma výměníky a to takové, že na výstupu z výměníku 4 a 5 je teplota obou proudů čerpané kapaliny stejná a před vstupem do výměníku 5.1 nedochází ke zbytečným energetickým ztrátám v důsledku nevratného procesu mísení kapalin nestejné teploty. Účelnost začlenění výměníku 5.1 za výměníky 4 a 5 je podmíněna tím, že teplota kondenzátu odváděného ze sběrné nádoby 3.4 je vyšší než teplota zahuštěné kapaliny odváděné ze sběrné jímky 2.2 na vstup do výměníku 4. Na obr. 1 je rovněž naznačeno, že teplota čerpané kapaliny má po výstupu z pomocného výměníku 6 (v idealizovaném případě již po výstupu z výměníku 5.1) teplotu T_1 , tzn. teplotu potřebnou pro var dosud nezahuštěného roztoku při tlaku P_1 (což je situace na vstupu do varného žlabu 2.1).

V odpařovací nádobě 2 se tudíž ustaví fázová rovnováha kapalina-pára při tlaku P_1 , ovšem při nestejné teplotě a koncentraci rozpouštěné látky v zahušťované kapalině. Teplota zahuštěné kapaliny (T_1) u vstupu do sběrné jímky 2.2 bude vyšší než teplota (T_1) nezahuštěné kapaliny na vstupu do varného žlabu 2.1. Pára rozpouštědla o teplotě $\bar{T}_1$ nasávaná z odlučovače kapek 1.1 do pracovního exhaustoru 1 bude mít tudíž charakter mírně přehřáté páry. Aby se udržela stejná intenzita varu zahušťované kapaliny 2.3 po celé délce varného žlabu 2.1, musí naopak teplota kondenzace přehřátých par rozpouštědla dopravovaných pracovním kompresorem na vstup do kondenzátoru 3 s jeho délkou úměrně klesat. To zajišťují jak skapávací plechy 3.1, tak přepážky 3.2 před každou trubicí 3.3 dílčího svodu kondenzátu. Pokles teploty kondenzace (a tudíž i pokles tlaku s délkou kondenzátoru) je na obr. 1 naznačen odstupňovanou výškou hladiny kondenzátu v jednotlivých trubicích 3.3 dílčího svodu kondenzátu do sběrné nádoby 3.4.

V principu může být zařízení dle obr. 1 seřízeno tak, že v odpařovací nádobě 2 je za provozu podtlak a v kondenzátoru je přetlak, atmosférický tlak nebo ještě podtlak, ve výjimečných případech tak, že jak v kondenzátoru 3, tak v odpařovací nádobě 2 bude v provozních

podmínkách přetlak (tato situace přichází v úvahu pouze v případech, kdy budou zahušťovány roztoky látek, u nichž má použité rozpouštědlo bod varu blízký teplotě okolí).

Zařízení je možno uvést do provozního rovnovážného stavu tímto způsobem:

Jednotlivé sekce zařízení se prostřednictvím ventilů 2.6, 3.6, 9.2, 10.2 připojí k pomocné vývěvě a evakuují se na hodnotu odpovídající tenzi par rozpouštědla při teplotě okolí (T_0). Dvoucestné ventily 9.1 a 9.4 se nastaví tak, aby zahušťovaná kapalina z výměníku 4 tekla zpět do zásobní nádrže 7 a spustí se pracovní čerpadlo 8.

Regulačním šoupátkem 6.1 se otevře přívod externího tepla ($\dot{Q}_6$) do pomocného výměníku 6. Po dosažení pracovní teploty T_1 po celé délce varného žlabu 2.1 se zapne pracovní kompresor 1 a plynule s nárůstem teploty ve sběrné nádobě 3.4 kondenzátu se omezuje přívod externího tepla $\dot{Q}_6$ až na nulovou nebo nezbytně nutnou hodnotu, potřebnou pro rovnovážný chod zařízení.

Pro dokonalou funkci zařízení je nezbytné, aby především odpařovací nádoba 2, kondenzátor 3 a pracovní kompresor 1 byly od vnějšího okolí co nejlépe izolovány. Za předpokladu ideální izolace těchto částí zařízení budou samotné procesy odpařování a kondenzace na teplosměnné ploše styku kondenzátoru 3, s varným žlabem 2.1, nahlíženo globálně z hlediska okolí, probíhat adiabaticky.

Mechanická práce $\dot{L}$ vnášená do systému pracovním kompresorem 1 a pomocné teplo $\dot{Q}_6$ budou ze systému odváděny jak zahuštěnou kapalinou z výměníku 4, tak kondenzátem rozpouštědla vytékajícím z výměníku 5. Na obr. 2 je ve schematickém řezu zakresleno jedno z možných konstrukčních řešení uzlové části zařízení a jejich tepelné izolace. Odpařovací nádobu 2 tvoří podtlaková válcová nádoba uzavřená zespodu pevným a seshora odklopným víkem 2.5 s varným žlabem 2.1 vinutým společně s kondenzátorem 3 jako dvojité spirály po vnitřní stěně válce. Ve střední části válcové dutiny je umístěn odlučovač 1.1 kapek a k jeho výstupu je na přírubu připojen sací větví pracovní kompresor 1.

Trubice vinutého kondenzátoru 3 má průřez písmene D přiléhajícího rovnou stranou ke dnu varného žlabu 2.1. Funkci skapávacích plechů 3.1 zajišťujících i potřebný gradient tlaku v kondenzátoru zajišťuje v tomto případě jeho samotná délka při relativně úzkém průřezu, funkci přepážek 3.2 plní seříznuté konce trubíc 3.3 dílčího odvodu kondenzátu zapuštěné v pravidelných odstupech do dna spirály kondenzátoru 3. U takto uspořádané uzlové části zařízení, izolované z vnější strany např. vrstvou 150 mm tvrdé polyuretanové pěny, bude ztrátové teplo ($\dot{Q}_z$) unikající za jednotku času do vnějšího okolí ve srovnání s kondenzačním teplem (r) převáděným přes teplosměnnou plochu kondenzátor 3 - varný žlab 2.1 zcela zanedbatelné a v úvahách o celkové účinnosti zařízení se nemusí uvažovat.

Z fyzikálního hlediska představuje kombinace kompresoru 1, odpařovací nádoby 2 a kondenzátoru 3, uspořádaná podle vynálezu, speciální případ tepelného čerpadla, u kterého je chladivem rozpouštědlo protékající kontinuálně ve formě zahušťovaného roztoku varným žlabem 2.1. Odpařovací nádoba 2 je v tomto uspořádání nejen výparníkem tepelného čerpadla, ale i prostředím, kam se odvádí teplo uvolněné v kondenzátoru. Kondenzátor 3 je naopak i prostředím, ze kterého výparník tepelného čerpadla teplo odnímá.

S ohledem na to, že množství rozpouštědla ($\dot{m}_1$), které se ve varném žlabu 2.1 za jednotku času odpaří je vždy menší, než celkové množství ($\dot{m}$) kapaliny protékající výměníky 5.1 a 6, nebude zpravidla množství tepla předané zahušťované kapalině ve výměníku 5.1 dostačovat na její přehřátí na potřebnou hodnotu T_1 . Z tohoto důvodu bude zpravidla nutné přivádět i po startu zařízení určité množství tepla ($\dot{Q}_6$) (srovnatelné s velikostí mechanické práce dodávané do systému kompresorem 1) z vnějšího zdroje do pomocného výměníku 6.

Hodnotit účinnost zařízení podle vynálezu bude možno technologickoeconomickým faktorem ($^{\epsilon}TE$), což je koeficient analogický ne zcela objektivnímu topnému faktoru (ϵ_t) používanému pro hodnocení účinnosti klasických tepelných čerpadel.

(Topný faktor sám o sobě nevystihuje exergetickou kvalitu produkovaného tepla). Faktor ϵ_{TE} bude definován vztahem:

$\epsilon_{TE} = \dot{Q}_1 / \dot{Q}_2$, kde $\dot{Q}_1$ je množství tepla teoreticky potřebného pro získání zahuštěné kapaliny v množství $\dot{m}_2$ za jednotku času a navíc pro získání kondenzátu rozpouštědla v množství $\dot{m}_1$ za jednotku času v případě, že by se neprováděla žádná rekuperace tepla. $\dot{Q}_2$ představuje součet mechanické práce $\dot{L}$, dodávané do systému za jednotku času kompresorem 1 a externího tepla $\dot{Q}_6$ přiváděného za jednotku času do pomocného výměníku 6.

Za předpokladu, že teplota T_0' zahuštěné kapaliny vystupující z výměníku 4 je stejná jako teplota kondenzátu vystupujícího z výměníku 5, vyplyne z energetické bilance vztah pro $\dot{Q}_2$:

$$\dot{Q}_2 = \dot{L} + \dot{Q}_6 = (\dot{m}_1 \cdot c + \dot{m}_2 \cdot c_g) \cdot (T_0' - T_0) \doteq \dot{m} \cdot c \cdot (T_0' - T_0),$$

kde c je měrná tepelná kapacita rozpouštědla a c_g měrná tepelná kapacita zahuštěného roztoku v nádrži 9. (U silně zředěných roztoků je možno rozdíl v hodnotách c a c_g zanedbat).

V případech, že jako technologicky žádoucí produkt je hodnocen i kondenzát rozpouštědla (což bude převážná většina případů), vychází pro hodnotu $\dot{Q}_1$ tato bilance:

Teplo nezbytně nutné pro přípravu množství $\dot{m}_2$ zahuštěného roztoku za jednotku času bude:

$$\dot{Q}_1' = \dot{m} \cdot c_7 \cdot (T_1' - T_0) + \dot{m}_1 \cdot r$$

kde r je střední výparní teplo rozpouštědla při teplotě T_1 a T_0 je teplota okolí.

Teplo, teoreticky nutné pro přípravu $\dot{m}_1$ kondenzátu za jednotku času bude:

$$\dot{Q}_1'' = \dot{m}_1 \cdot c \cdot (T_1 - T_0) + \dot{m}_1 \cdot r \quad (\dot{Q}_1' + \dot{Q}_1'' = \dot{Q}_1)$$

kde c_7 je měrná tepelná kapacita zahušťovaného roztoku v nádrži 7.

Pro technologickoeconomický topný faktor ϵ_{TE} vychází:

$$\epsilon_{TE} = [\dot{m} \cdot c_7 + \dot{m}_1 \cdot c] \cdot (T_1 - T_0) + 2 \dot{m}_1 \cdot r / [\dot{m} \cdot c \cdot (T_0' - T_0)],$$

nebo po zjednodušení pro zředěné roztoky:

$$\epsilon_{TE} \doteq [\dot{m} \cdot c \cdot (T_1 - T_0) + 2 \dot{m}_1 \cdot r] / [\dot{m} \cdot c \cdot (T_0' - T_0)].$$

Z uvedeného vztahu vyplývá, že hodnota ϵ_{TE} roste prakticky úměrně s hodnotou $\dot{m}_1$ a že maximální hodnoty může dosáhnout v případě, kdy zařízení bude seřizeno pro totální destilace ($\dot{m}_2 = 0$).

V tom případě by pro ϵ_{TE} platil vztah:

$$\epsilon_{TE} = (T_1 - T_0) / (T_0' - T_0) + 1 \cdot r / [c \cdot (T_0' - T_0)]$$

Např. pro takto připravovanou destilovanou vodu za podmínek chodu zařízení, kdy $T_1 = 353^\circ\text{K}$, $T_0 = 293^\circ\text{K}$ a $T_0' = 313^\circ\text{K}$ vychází:

$$\epsilon_{TE} = 60/20 + 2.2 \cdot 308 / (4,187 \cdot 20) = 3 + 55,1 \doteq 58$$

Na základě výpočtu je možno stanovit, že i při nižším podílu odpařeného rozpouštědla,

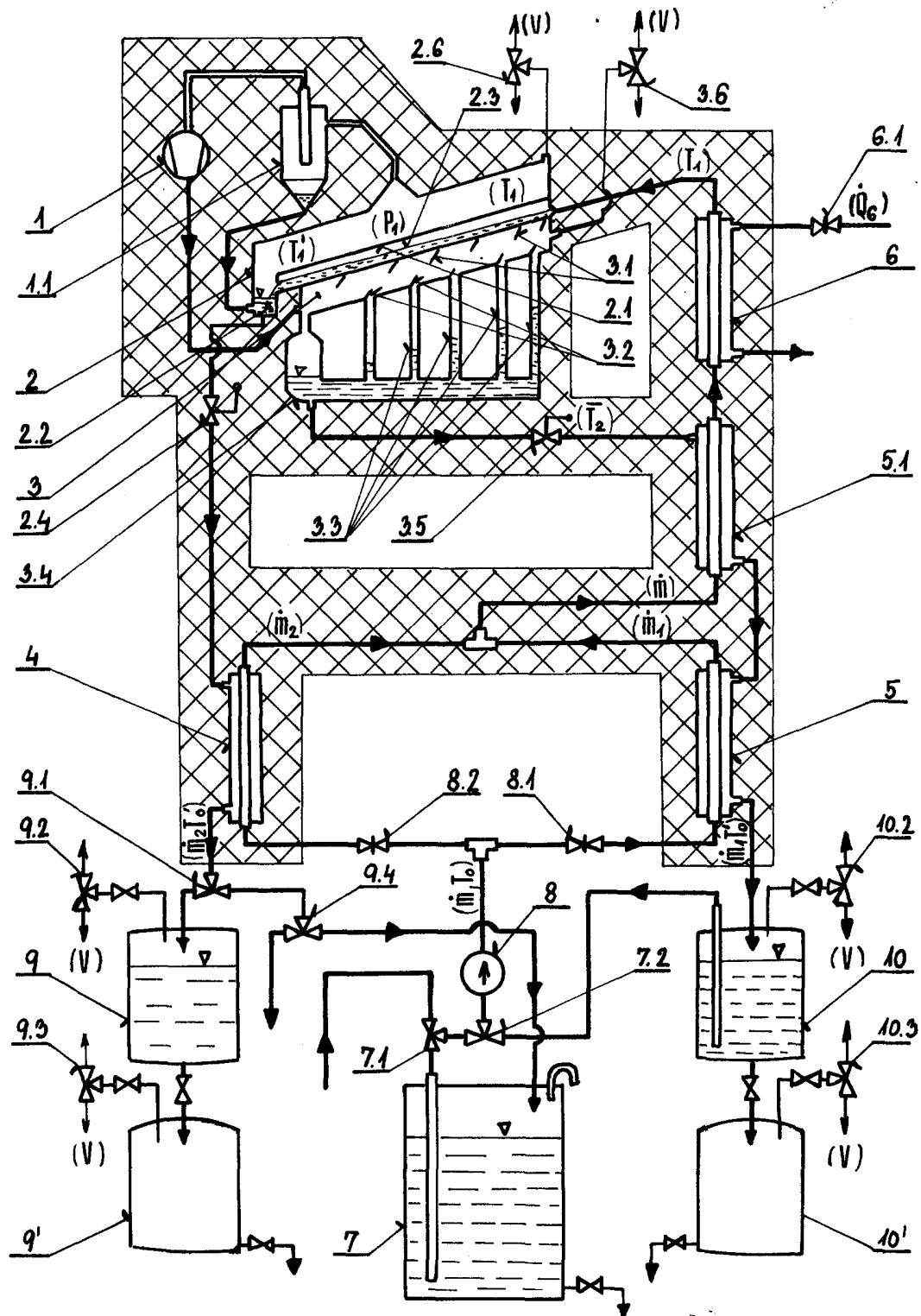
(kdy se bude poměr $\dot{m}_1:\dot{m}$ pohybovat v rozmezí 0,3 až 0,8), bude se hodnota ϵ_{TE} pohybovat v rozmezí 20 až 50, tzn. bude v průměru o jeden řád vyšší než topný faktor soudobých tepelných čerpadel "voda-voda" používaných pro vytápění.

Z rozboru poměrů v odpařovací nádobě 2, kde se může výrazně uplatnit ebullioskopický efekt a tudíž i nutnosti řešit adekvátně konstrukčně i kondenzátor 3, vyplývá, že zařízení bude muset být konstruováno vždy pro jeden účel nebo pro zahušťování takového souboru roztoků, u kterých budou tepelné poměry ve varném žlabu podobné.

Jako uživatelé zařízení pro adiabatické zahušťování roztoků podle vynálezu přicházejí v úvahu chemický průmysl (zahušťování roztoků solí ve vodě, příprava technické destilované vody) farmaceutický průmysl (příprava destilované vody velmi vysoké čistoty několikanásobnou destilací, izolace sloučenin a léčiv z velmi zředěných roztoků), potravinářský průmysl (zahušťování ovocných šťáv a jiných potravinářských roztoků) a různá výzkumná a speciální pracoviště. V principu přichází v úvahu i zcela okrajové použití zařízení v miniaturním provedení, jako odsolovač mořské vody pro trosečníky. Vzhledem k vysokému dosažitelnému technologickoekonomickému faktoru je možno zařízení konstruovat tak, aby pracovní kompresor (vývěva) 1 mohl být poháněn lidskou silou a pomocný tepelný výměník 6 byl řešen jako tepelné vodivá hadice uspořádaná do plošného tvaru a přikládána pod oděvem přímo na lidské tělo.

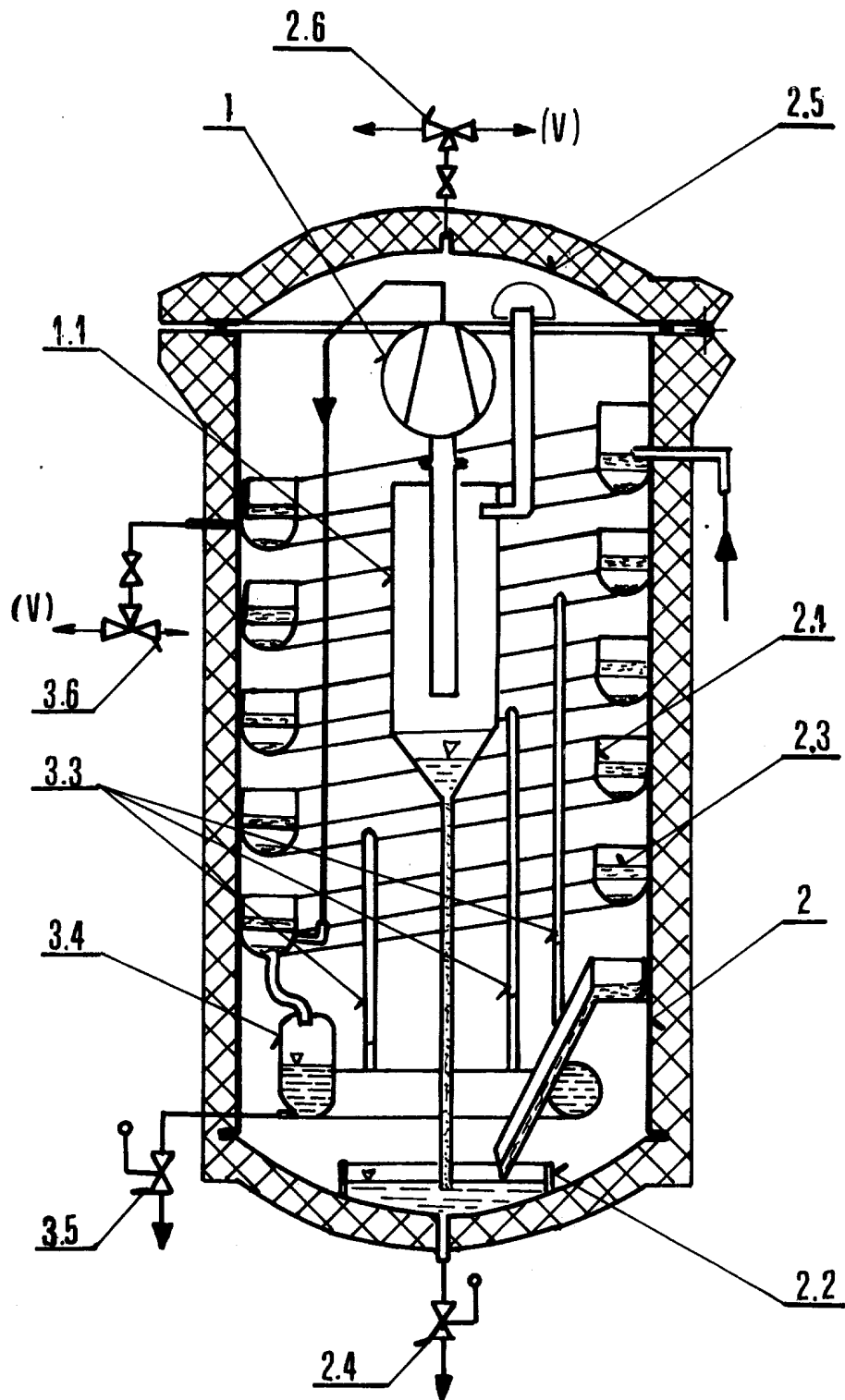
P R E D M Ě T V Y N Á L E Z U

Zařízení pro kontinuální adiabatické zahušťování roztoků sestávající z odpařovací nádoby, pracovního kompresoru s kondenzátorem par odpařeného rozpouštědla, dopravního čerpadla zahušťované kapaliny, systému protiproudých výměníků pro předehřev zahušťované kapaliny a zásobních nádrží pro zahušťovanou kapalinu, zahuštěnou kapalinu i kondenzát rozpouštědla, vyznačené tím, že pracovní kompresor (1) je sací větví napojen na odpařovací nádobu (2) a výtlačnou větví na vstup do kondenzátoru (3) rozpouštědla přichyceného ke dnu varného žlabu (2.1) a dopravní čerpadlo (8) zahušťované kapaliny je výtlačnou větví napojeno přes dva paralelně připojené protiproudé výměníky (4, 5), dále přes protiproudý výměník (5.1) a startovací výměník (6) na vstup do varného žlabu (2.1) a vývod zahuštěné kapaliny ze sběrné jímky (2.2) je napojen přes protiproudý výměník (4) do zásobní nádrže (9), kdežto odvod kondenzátu rozpouštědla ze sběrné nádoby (3.4) je napojen přes protiproudé výměníky (5.1, 5) do zásobní nádrže (10), přičemž pracovní kompresor (1), odpařovací nádoba (2) s integrovaným kondenzátorem (3) a sběrnou nádobou (3.4) i všechny protiproudé výměníky (4, 5, 5.1, 6) jsou od vnějšího okolí tepelně izolovány.



OBR. 1

259921



Severografia, n. p., MOST

Cena 2,40 Kčs