

(19) BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

PATENTCHRIFT



(12) Ausschließungspatent

(11) **DD 287 989 A5**

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1
Patentgesetz der DDR
vom 27.10.1983
in Übereinstimmung mit den entsprechenden
Festlegungen im Einigungsvertrag

5(51) F 25 J 3/00
F 28 D 7/00

DEUTSCHES PATENTAMT

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21)	DD F 25 J / 332 831 2	(22)	20.09.89	(44)	14.03.91
(71)	siehe (73)				
(72)	Roth, Hartmut, Prof. Dr. sc. techn., DE; Geier, Karl, Doz. Dr. rer. nat., DE; Steiner, Uwe, Dipl.-Ing., DE; Lange, Bettina, Dipl.-Ing., DE; Pinter, Zoltan, Dr.-Ing., HU				
(73)	Ingenieurhochschule Köthen, Direktorat F/IB, Bernburger Straße 52/57, O - 4370 Köthen, DE				
(54)	Rohrbündel-Wärmeübertrager zur Kühlung und Kondensation gasförmiger Medien				

(55) Rohrbündel-Wärmeübertrager; Kühlung; Kondensation; Luftentfeuchtung

(57) Die Erfindung betrifft einen Rohrbündel-Wärmeübertrager zur Kühlung und Kondensation gasförmiger Medien. Er ist bevorzugt zur Luftentfeuchtung auf einen Wasserdampf-Partialdruck $> 0,7$ kPa einsetzbar und speziell zur Bereitstellung von partiell entfeuchteter Kuhlluft für Konvektionstrocknungsprozesse geeignet. Hauptkennzeichen des Wärmeübertragers sind die Gleichstromführung zwischen zu entfeuchtendem Gas und Kälte-träger sowie stab- oder plattenförmige Verdrängungskörper, die zwischen den Übertragerrohren angeordnet sind und zur Reduzierung ihrer Wärmekapazität und Wärmeleitfähigkeit aus einem geschäumten Werkstoff bestehen. Auf diese Weise wird bei Betriebsunterbrechungen ein Gefrieren des Kondensats an den Übertragerflächen vermieden.

ISSN 0433-6461

12 Seiten

Patentansprüche:

1. Rohrbündel-Wärmeübertrager zur Kühlung und Kondensation gasförmiger Medien, vorzugsweise zur Kühlluftbereitstellung und partiellen thermischen Luftentfeuchtung auf Wasserdampf-Partialdrücke $> 0,7 \text{ kPa}$, **gekennzeichnet dadurch**, daß
 - der stehende Wärmeübertrager (1) eine Gleichstromführung zwischen gasförmigem Medium (100; 101) und Kälteträger (103; 104) sowie an der tiefsten Stelle des unteren Kopfraumes (14) einen mittels eines Flüssigkeitsniveaureglers bekannter Bauart abgeschlossenen Entwässerungsstutzen (12) aufweist,
 - im Mantelraum (8) des Wärmeübertragers zwischen dessen Rohren (4) stab- oder plattenförmige Verdrängungskörper (7) aus einem geschäumten Werkstoff oder Werkstoffverbund mit niedrigen Werten der spezifischen Wärmekapazität und Wärmeleitfähigkeit angeordnet sind, deren Länge 80...95% der freien Rohrlänge beträgt und deren Querschnitt durch den Sollwert der Verhältniszahl $\epsilon_A = 1$ bis 20 bestimmt ist, wobei

$$\epsilon_A = \frac{\text{Strömungsquerschnitt aller Rohre}}{\text{Strömungsquerschnitt im Mantelraum}}$$

ist, und die Verdrängungskörper mittels mindestens je zwei auf jedem Rohr angebrachter Distanzringe (10) positioniert sind und am unteren Rohrboden auf zylindrischen Stiften (9) ruhen, deren relative Länge 3...12% der freien Rohrlänge bei einem Verhältnis von Stiftdurchmesser zu Rohraußendurchmesser $< 0,40$ beträgt.

2. Rohrbündel-Wärmeübertrager nach Anspruch 1, **gekennzeichnet dadurch**, daß die Verdrängungskörper (7) aus geschäumtem Kunststoff, vorzugsweise in Sandwichbauweise mit innerem Weichschaumkern und äußerer feuchtedichter Harthülle ausgeführt sind.
3. Rohrbündel-Wärmeübertrager nach Anspruch 1 oder 2, **gekennzeichnet dadurch**, daß bei Beibehaltung der Gleichstromführung von gasförmigem Medium und Kälteträger mehrere Wärmeübertrager parallel und/oder in Serie geschaltet sind.
4. Rohrbündel-Wärmeübertrager nach Anspruch 1 und 2 oder 1 bis 3, **gekennzeichnet dadurch**, daß ihm ein mittels Frischwasser gekühlter Wärmeübertrager (21) vorgeschaltet ist.

Hierzu 6 Seiten Zeichnungen

Anwendungsgebiet der Erfindung

Das im Titel bezeichnete Anwendungsgebiet erstreckt sich auch auf die Kühlung und Kondensation bzw. Partialkondensation von Gasgemischen. Eine bevorzugte Anwendung besteht in der Bereitstellung von auf einen Wasserdampf-Partialdruck $> 0,7 \text{ kPa}$ entfeuchteter Luft, die z. B. als Kühlluft für kontinuierliche oder diskontinuierliche Konvektionstrocknungsverfahren benötigt wird.

Charakteristik des bekannten Standes der Technik

Der bekannte Stand der Kühl- und Entfeuchtungsverfahren und -vorrichtungen von Luft mit Kühlwasser ohne Vereisung ist vorrangig durch Anwendung von Brunnenkühlwasser im Gegenstrom charakterisiert. Er ist durch niedrigen Investaufwand und geringe Energiekosten gekennzeichnet. Sein entscheidender Nachteil ist jedoch durch die Begrenzung der erreichbaren Temperatur der Kühlluft im Sommer von minimal $t > +15^\circ\text{C}$ und damit $p_w > 1,7 \text{ kPa}$ gegeben, womit die Anforderungen speziell für Kühlprozesse von Gütern mit extrem niedriger Endfeuchte bei Konvektionstrocknungsprozessen nicht eingehalten werden können. Vorteilhaft und notwendig ist dabei aber das Prinzip des freien Abflusses des kondensierten Wassers. Eine ganze Gruppe von Verfahren und Vorrichtungen kann zu einer zweiten Kategorie zusammengefaßt werden, die zwar den geforderten Wasserdampf-Partialdruck erreichen, aber nicht vorrangig zur Erzeugung von Kühlluft dienen. Darüber hinaus kommen alle Kühlapparate in den Vereisungsbereich und müssen meist alternierend, stets jedoch ohne eine Nutzung der Schmelzenthalpie des ausgefrorenen Eises, aufgetaut werden. Als charakteristische Beispiele dieser Kategorie sollen folgende Schriften dienen:

So werden in der DE-OS 3344033 und in der DE-OS 2535668 jeweils Verfahren und Vorrichtung zur Wassergewinnung aus der Luftfeuchte durch einen Kompressor mit angeschlossener Kühlvorrichtung bzw. ein Gerät zur Wassergewinnung aus der Atmosphäre beschrieben, die mit Kondensation und Vereisung arbeiten. - In der DE-OS 3344033 basiert das vorgeschlagene Verfahren auf einer theoretisch begründeten sehr aufwendigen Vorrichtung, die sowohl eine Kompression und Kühlung der Luft mit einer Wärmepumpe ermöglicht als auch die Endfeuchte durch eine Aufheizung der entfeuchteten Luft vor der Entspannung die Antriebsleistung gering halten soll. Das kontinuierlich arbeitende Verfahren entfeuchtet zwar die Luft, liefert sie aber mit einer wieder erhöhten Temperatur aus dem Entfeuchtungsverfahren zurück, so daß mit einem erhöhten Invest- und Betriebsaufwand

nur ein verkürzter Effekt erreichbar wird. – In der DE-OS 2535668 wird ein tornistergroßes Gerät zur Wassergewinnung beschrieben, das für jede industrielle Anwendung ungeeignet ist.

In der DE-OS 2854263 wird ein Verfahren zur Kältetrocknung von Gas, insbesondere Druckluft, und in der DE-OS 2701006 die entsprechende Vorrichtung hierzu beschrieben. Verfahren und Vorrichtung lösen diese Aufgabe mit einem Gas-Gas- und Gas-Kältemittel-Wärmeaustauscher. Das Verfahren ist für die Bereitstellung von entfeuchteter Kühlluft ungeeignet, da es nach der Kühlung in den ersten beiden Stufen beim Aufwärtsströmen durch den Gas-Gas-Wärmeaustauscher wieder erwärmt wird. Erfindungsgemäß verfügt zumindest der Gas-Gas-Wärmeaustauscher über Austauschelemente, die aus einem Außenrohr und einem darin angeordneten Kernrohr sowie aus im Zwischenraum zwischen Außenrohrinnenfläche und Kernrohräußenfläche und/oder im Kernrohr angeordneten mit der bzw. den Flächen in Wärmekontakt stehenden, in Querschnittsansicht mäanderförmig verlaufenden Metallblech besteht. Dem Vorteil der Kombinationsfähigkeit steht der Nachteil einer hochspezialisierten Fertigung gegenüber, die die Nutzung wesentlich einschränkt.

Der Nachteil der Vereisung aller Luftkühlvorrichtungen – bei der Nutzung von Kühlmedien im Minus-Temperatur-Bereich – ist so offensichtlich, daß dem Problem der Minimierung der Reifbildung oder der Steuerung der Abtauvorgänge ein besonderes Augenmerk geschenkt wird: In der DD-PS 54020 wird eine Einrichtung zur Verhinderung einer raschen Reifbildung an berippten Kältemittelverdampfern mit Luftumwälzung beschrieben, die mit der Vorschaltung von Glattröhren vor das Rippenrohrregister und einer durch Zeitschaltuhr gesteuerten Umkehrung des Kältemittelkreislaufes arbeitet. – In der DD-PS 21838 wird eine Vorrichtung zur Steuerung des Abtauvorganges an Luftkühlern beschrieben, mit der das Ziel verfolgt wird den Zeitpunkt des Abtauvorganges an Luftkühlern exakt zu bestimmen. – In der DE-OS 3109366 werden Verfahren und Vorrichtung zum Abtauen des Reifansatzes an Verdampfern von Wärmepumpen oder Kälteanlagen beschrieben, mit dem der Reifansatz durch die Änderung der Wärmeleitwerte zweier Meßelemente eingeleitet und beendet wird. – In der DE-OS 3145445 wird eine Abtaueinrichtung beschrieben, die über ein komplex gesteuertes und geregeltes System arbeitet. Es besteht aus je einem Stromerfassungs-, Rechenverarbeitungs-, Stromzufuhrunterbrecher-, Abtaubeendigungs-Erfassungs- und Stromzufuhrstartglied sowie einem Entscheider in logischer Verkettung. – In der DD-PS 232341 wird ein Abtauverfahren für Luftentfeuchtungsgeräte beschrieben. Dabei geht die Verfahrensbeschreibung von der Voraussetzung aus, daß das eigentliche Grundverfahren der Bereitstellung von entfeuchteter Warmluft dient. Dabei folgt im Verdampfer der Wärmepumpenschaltung, entsprechend den bekannten Gleichgewichtsbedingungen, der Kondensationszone eine Vereisungszone. Beim Abtauverfahren, das nur einen Teil der Betriebszeit in Anspruch nimmt, wird das nunmehr auf einem höheren Temperaturniveau – oberhalb 0°C – arbeitende Wärmepumpensystem in umgekehrter Richtung von der Luft durchströmt und zunächst aufgeheizt, wodurch der Abtauprozess schneller vor sich geht. Diese Verfahrensprinzipien gelten nicht, wenn es um die Bereitstellung von entfeuchteter Kaltluft für Kühlprozesse geht. Dabei zeigt das beschriebene Verfahren den Nachteil, daß die Abtauenthalpie ungenutzt aus dem Prozeß ausgeschleust wird, außerdem würde die Umrüstung einen erhöhten Aufwand bei der apparativen und regelungstechnischen Gestaltung erfordern. Darüber hinaus wird jedoch als entscheidender Nachteil gesehen, daß der Verdampfer nach wie vor im Kühlbetrieb arbeitet: So lange noch Eis am Verdampfer haftet, wird die Verdampfungstemperatur nicht über 0°C ansteigen. Das Verfahren muß daher insgesamt als ineffektiv eingeschätzt werden. – Insgesamt zeigen die sieben hier dargestellten Patentbeschreibungen die Unausweichlichkeit der Reifbildung bzw. Eisabscheidung bei der Abkühlung feuchter Luft mit Kühlmedien im Minus-Temperatur-Bereich: In der DE-OS 3622145 wird eine Vorrichtung zum Entfernen von kondensierbaren Bestandteilen aus Gasen beschrieben, die dem kontinuierlichen Betrieb dient. Um den hohen Investaufwand für zwei alternierend arbeitende Blöcke zu vermeiden, wird der Wärmeaustauscher zur Gaskühlung als Kühlplatte ausgebildet. Der Kühlplatte ist ein Radiallüfterrad mit zur Kühlplatte hin offenen Leitflügeln so zueordnet, daß die Kanten der Leitflügel unter Ausbildung eines Spaltes über den Reif der Kühlplatte schaben. Das vereiste Kondensat wird dabei kontinuierlich durch die Kanten der Leitflügel abgeschabt, die der Zufuhr des Gases dienen. Der Nachteil dieser Vorrichtung besteht darin, daß die entfernten kondensierbaren Anteile als fein verteilte Eispartikel anfallen, die über einen zusätzlichen ringförmigen Sammelbehälter aufgenommen und abgeführt werden, woraus zusätzlich die Forderung zum Einbau eines Granulatkreislaufes für ein nicht näher beschriebenes Reinigungsgranulat abgeleitet wird. Die Gesamtanlage ist einem hohen mechanischen Verschleiß ausgesetzt.

In der DD-PS 47049 wird ein Verfahren zum Ausscheiden von Feuchtigkeit und Bestandteilen aus Gasen durch Wärmeentzug beschrieben, das erfindungsgemäß mit zwei hintereinander geschalteten und periodisch betriebenen Wärmeaustauschern arbeitet. In der einen Periode wird das als Rohgas bezeichnete feuchte Gas durch den trockenen Strömungsgang des in der vorhergehenden Periode als Ausfrierapparat betriebenen Wärmeaustauschers geleitet. Dabei schmilzt das auf der einen Seite abgelagerte Eis, während die sich aus dem Rohgas abscheidende Feuchte mit zunehmender Abkühlung zunächst frei ablaufen kann. Das vorentfeuchtete Rohgas tritt dann in den eigentlichen Ausfrier- und Ausscheidewärmeaustauscher ein, in dem nur noch die Restbestandteile ausgefroren werden, wobei der Ausfrierwärmeaustauscher wesentlich entlastet ist und damit längere Betriebszeiten gestattet werden sollen. Ist der Ausfrier-Wärmeaustauscher „vollgefahren“, werden die Funktionen der beiden Apparate durch entsprechende Schaltung vertauscht. Damit werden zwar die thermischen Verfahrensnachteile reduziert, aber es wird ein hoher Investaufwand erfordert.

In der DE-OS 1966859 wird ein Luftkühlgerät mit einer Kältemaschine, einem Kondensator und einem Verdampfer beschrieben, bei der der Verdampfer einer latenten Wärme speichernden Masse während der Nicht-Kühlperiode Wärme entzieht und hierdurch die Kristallisation der Speichermasse herbeiführt und daß ein Gebläse zusammen mit einem Wärmetauscher, der mit der Speichermasse in wärmeübertragender Verbindung steht, während der Kühlperiode die Raumluft kühlt. Damit wird die allgemein bekannte Grundform der Kopplung eines links-Kreisprozesses mit einem Kältespeicher beschrieben, der zur Kühlung von Raumluft verwendet wird. Der Speicher soll damit aus einer Vielzahl unter sich gleicher, die Speichermasse einschließenden Behältern bestehen, die in loser Schüttung einen Teil des Tankinneren einnehmen, wobei auch die Möglichkeit der Anordnung der die Speichermasse einschließenden Behälter in Form einer Vielzahl von unter sich gleichen Behältern beschrieben wird, die nebeneinander in vertikaler Richtung angeordnet sind und zwischen sich Kanäle bilden, die den Speicher-tank in vertikaler Richtung durchsetzen.

Das an sich effektive Grundprinzip besitzt bei kürzeren Frequenzen der Kühl- und Nichtkühl-Perioden offensichtlich den Nachteil, daß die Kältemaschine über den Verdampfer nur während der Nichtkühl-Periode die Speichermasse kühlt. Während der Kühlperioden der Luft muß die Kältemaschine außer Betrieb gesetzt werden. Außerdem wird mitgeteilt, daß als Speichermasse ein Hydrat verwendet wird, das einen Gefrierpunkt von nur minus 3°C oder gar von + 5°C hat, da in diesem Falle keine Vereisung

am Wärmetauscher stattfinden kann. Daraus resultiert der entscheidende Nachteil, daß relativ große Speicher erforderlich sind, die den Investaufwand erhöhen.

Die Nachteile des bisherigen Standes der Technik können in drei wesentlichen Aspekten zusammengefaßt werden:

- Die einfachen Austaufverfahren, die bei höheren Temperaturen mit Brunnenwasser von ca. + 10°C arbeiten, sind zwar bequem und sicher zu betreiben, erfüllen aber die Anforderungen an den Entfeuchtungsgrad nicht.
- Die Austaufverfahren- und -Vorrichtungen mit Kältemedien im Minus-Temperatur-Bereich führen bei allen gefundenen Beispielen zu einer Vereisung des Austaapparates, die wegen des alternativen Betriebes mit Abtauperioden sehr hohe Investaufwendungen erfordern oder – bei einer kontinuierlichen mechanischen Enteisung – einem hohen mechanischen Verschleiß ausgesetzt sind.
- Ein Luftkühlgerät in Kombination mit einer Kältemaschine und einem Kältespeicher kann nach den angegebenen Beschreibungen, entweder nur im Kältemaschinen- oder Kältespeicher-Betrieb arbeiten und funktioniert vereisungsfrei nur mit einem extrem großen Speicher.

Ziel der Erfindung

Bekannte Rohrbündel-Wärmeübertrager, insbesondere solche, die im Kälte-trägerkreislauf einen Kältespeicher aufweisen, neigen bei Unterbrechung des Gasdurchsatzes zum Vereisen der gasbeaufschlagten Wärmeübertragerflächen. Bei erneuter Inbetriebnahme kann der geforderte Entfeuchtungsgrad erst nach vollständigem Abtauen der vereisten Flächen, d. h. mit erheblicher Zeitverzögerung erreicht werden. Dieser Nachteil, der bei diskontinuierlicher Betriebsweise an sich unvermeidbar erscheint, soll mit geringem Kostenaufwand beseitigt bzw. wesentlich reduziert werden, ohne die Leistungsparameter des Wärmeübertragers zu beeinträchtigen.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, in einem Rohrbündel-Wärmeübertrager gemäß dem Oberbegriff des 1. Patentanspruches ein Vereisen der gasbeaufschlagten Übertragungsflächen bei Betriebsunterbrechung zu vermeiden, ohne daß eine spezielle Fahrweise des Übertragers bei Betriebsunterbrechungen, z. B. durch Beaufschlagen des Gasraumes mit bereits entfeuchtetem und erwärmtem Gas oder erwärmtem Inertgas notwendig ist.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß

- der stehende Wärmeübertrager eine Gleichstromführung zwischen gasförmigem Medium und Kälte-träger sowie an der tiefsten Stelle des unteren Kopfraumes einen mittels eines Flüssigkeitsniveaureglers bekannte Bauart abgeschlossenen Entwässerungsstutzen aufweist,
- im Mantelraum des Wärmeübertragers zwischen dessen Rohren stab- oder plattenförmige Verdrängungskörper aus einem geschäumten Werkstoff oder Werkstoffverbund mit niedrigen Werten der spezifischen Wärmekapazität und Wärmeleitfähigkeit angeordnet sind, deren Länge 80...95% der freien Rohrlänge beträgt und deren Querschnitt durch den Sollwert der Verhältniszahl $\epsilon_A = 1$ bis 20 bestimmt ist, wobei

$$\epsilon_A = \frac{\text{Strömungsquerschnitt aller Rohre}}{\text{Strömungsquerschnitt im Mantelraum}}$$

ist, und die Verdrängungskörper mittels mindestens je zwei auf jedem Rohr angebrachten Distanzringe positioniert sind und am unteren Rohrboden auf zylindrischen Stiften ruhen, deren relative Länge 3...12% der freien Rohrlänge bei einem Verhältnis von Stiftdurchmesser zu Rohrdurchmesser $< 0...$ beträgt.

Obwohl alle bekannten Vorschläge wegen der Einsparung von Wärmeübertragerfläche auf die Anwendung der Gegenstromführung orientieren, wird bei der erfindungsgemäßen Lösung auf diesen Vorteil verzichtet, um im kontinuierlichen Betrieb die Vereisungsfreiheit auch bei den unvermeidlichen Schwankungen der Betriebsbedingungen mit Sicherheit zu gewährleisten. Die als weitere erfindungswesentliche Maßnahme vorgesehenen Verdrängungskörper aus einem geschäumten Werkstoff gewährleisten aufgrund ihrer geringen Wärmekapazität und Wärmeleitfähigkeit zusätzlich die Vereisungsfreiheit bei Betriebsunterbrechungen. Bei erneuter Inbetriebnahme wird daher der geforderte Entfeuchtungsgrad im Vergleich zu bekannten Anlagen in wesentlich kürzerer Zeit erreicht. Die vorgeschlagene Positionierung der Verdrängungskörper mittels Distanzringen und stiftförmigen Auflagen auf dem unteren Rohrboden sichert sowohl eine den Wärmeübergang fördernde Strömungszuführung des Kälte-trägers als auch weitgehend ungehinderte axiale Bewegungen der Verdrängungskörper infolge thermischer Längenänderungen beim An- und Abfahren des Wärmeübertragers. Einige vorteilhafte Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Wärmeübertragers sollen im folgenden beispielhaft aufgezählt werden, wobei sich deren spezielle Vorteile unmittelbar aus den angegebenen Merkmalen ergeben. Diese Ausführungsformen sind dadurch gekennzeichnet, daß

- die Verdrängungskörper aus geschäumtem Kunststoff, vorzugsweise in Sandwichbauweise mit Innerem Weichschaumkern und äußerer feuchtedichter Harthülle ausgeführt sind,
- bei Beibehaltung der Gleichstromführung von gasförmigem Medium und Kälte-träger mehrere Wärmeübertrager parallel und/oder in Serie geschaltet sind,
- dem erfindungsgemäßen Wärmeübertrager ein mittels Frischwasser gekühlter Wärmeübertrager vorgeschaltet ist.

Ausführungsbeispiele

Die Erfindung soll nachstehend an 5 Ausführungsbeispielen erläutert werden. In der dazugehörigen Zeichnung zeigen

- Fig. 1: eine nicht maßstäbliche Schnittdarstellung durch den senkrecht stehenden Rohrbündel-Wärmeübertrager mit den Verdrängungskörpern;
 Fig. 2: ein Ausschnitt aus dem Schnitt A–A mit stabförmigen Verdrängungskörpern;
 Fig. 3: ein Ausschnitt aus dem Schnitt A–A mit plattenförmigen Verdrängungskörpern;
 Fig. 4: die Darstellung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung mit drei hintereinander angeordneten Wärmeübertragern;
 Fig. 5: die Darstellung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung mit zwei parallel angeordneten Wärmeübertragern;
 Fig. 6: den Teilschnitt durch den senkrecht stehenden Rohrbündel-Wärmeübertrager mit vorgeschaltetem Rippenrohr-Wärmeübertrager in Gegenstromschaltung.

Beispiel 1

In Fig. 1 ist, in nicht maßstäblicher Darstellung, der Schnitt durch den senkrecht stehenden Rohrbündel-Wärmeübertrager 1 dargestellt. Er hat am Kopf 2 einen Zuführungsstutzen 3 für den durch die Rohre 4 geführten Frischluftstrom 100, an dem oberen Teil der Zarge 5 einen Zuführungsstutzen 6 für den um die Rohre geführten Wärmeträgerzulaufstrom 103. Durch den Einbau von Verdrängungskörpern 7 liegt das Strömungsflächen-Verhältnis ϵ_A vom Strömungsquerschnitt in den Rohren 4 zum Strömungsquerschnitt im Mantelraum 8 bei $\epsilon_A = 6,08$.

Mit einer Länge der Verdrängungskörper $L_7 = 1800 \text{ mm}$ weisen sie bei einer freien Rohrlänge von $L_4 = 2000 \text{ mm}$ einen Anteil von 90% der freien Rohrlänge auf. Die Verdrängungskörper sitzen am unteren Rohrboden auf zylindrischen Stiften der Länge $L_9 = 100 \text{ mm}$ vom Durchmesser $d_{\text{Stift}} = d_9 = 5 \text{ mm}$; bei ihnen sind die Verhältnisse $L_9/d_9 = 0,05$ bzw. $d_{\text{Stift}}/d_{\text{Rohr}} = 0,25$; ihre relative Länge beträgt mit $L_9 = 100 \text{ mm}$ 5% der freien Rohrlänge L_4 .

Die Verdrängungskörper 7 sind durch je 3 Distanzringe 10 pro Rohr positioniert, die bei den verschiedenen Rohren auf unterschiedlichen Ebenen liegen.

Um 90° versetzt zur Achse des Wärmeübertragers 1 ist im unteren Kopfraum 14 des Wärmeübertragers 1 der Stutzen 11 für den seitlichen Luftaustritt des partiell entfeuchteten Kühlluftstromes 101 enthalten.

Der in axialer Richtung liegende Entwässerungsstutzen 12 ist durch einen hier nicht dargestellten Flüssigkeitsniveauregler bekannter Wirkungsweise abgeschlossen.

Am unteren Teil der Zarge 5 ist der Abführungsstutzen 13 für den Wärmeträgerablaufstrom 104 angebracht.

Der in Fig. 2 dargestellte Ausschnitt aus dem Schnitt A–A der Fig. 1 zeigt den Schnitt durch die Rohre 4 und die stabförmigen Verdrängungskörper 7.1, die aus geschäumtem PUR-Kunststoff in Sandwichausführung mit innerem Weichschaumkern und äußerer Harthülle bestehen. – Die bei den verschiedenen Rohren auf unterschiedlichen Ebenen angeordneten Distanzringe 10 positionieren die stabförmigen Verdrängungskörper 7.1.

Für die Bereitstellung von partiell entfeuchteter Kühlluft von $p_w = 0,75 \text{ kPa}$ aus $V_{100} = 3000 \text{ m}^3/\text{h}$ angesaugter Umgebungsluft mit einer Temperatur von $t_{100} = 30^\circ\text{C}$ und einem Wasserdampf-Partialdruck $p_w = 3,44 \text{ kPa}$ über einen Zeitraum von 15 Minuten, mit einer Zwischenzeit von 145 Minuten bei einer Gesamtzyklusdauer von 160 Minuten, arbeitet eine Kältdampf-Kälteanlage mit R 12 als Arbeitsmittel kontinuierlich bei einer Verdampfer-Leistung von 8,2 kW und einer Verdampfer-Temperatur von -18°C . Der in einem Kältespeicher angeordnete Verdampfer sorgt für eine kontinuierliche Zuführung zum Speicher. Die kurzzeitige Luftkühlung erfolgt durch den Wärmeträger Methanol mit dem Zulaufstrom 103 im senkrecht stehenden Wärmeübertrager 1 mit einer Wärmeübertragungsfläche von $45,5 \text{ m}^2$.

Gemäß der Verfahrensfestlegung ist bei der Temperatur des Wärmeträgerzulaufstroms 103, der durch den Stutzen 6 mit $t_{103} = -6^\circ\text{C}$ und einem Volumenstrom von $V_{103} = 24,5 \text{ m}^3/\text{h}$ eintritt und durch den Stutzen 13 mit $t_{104} = -1^\circ\text{C}$ austritt, die Bedingung gewährleistet, daß mit $t_{103} = -6^\circ\text{C}$ bis -8°C sowohl beim kontinuierlichen als auch beim diskontinuierlichen Betrieb in den Rohren 4 keine Eisbildung erfolgt.

Beispiel 2

Das Beispiel 2 entspricht im Grundaufbau den Angaben des Beispiels 1. – Eine Erfindungsvariante ist der in Fig. 3 dargestellte Ausschnitt aus dem Schnitt A–A der Fig. 1. Er zeigt den Schnitt durch die Rohre 4 und die plattenförmigen Verdrängungskörper 7.2, die aus geschäumtem PUR-Kunststoff in Sandwichausführung mit innerem Weichschaumkern und äußerer Harthülle bestehen. – Die bei den verschiedenen Rohren auf unterschiedlichen Ebenen angeordneten Distanzringe 10 positionieren die plattenförmigen Verdrängungskörper 7.2 sind einfacher zu montieren und gewährleisten eine günstige Strömungsverteilung im Wärmeübertrager 1.

Beispiel 3

Eine im konstruktiven Aufbau besonders zweckmäßige Form der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist in Fig. 4 dargestellt. Sie besteht in der Zusammenschaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung zu einem System. Im Beispiel sind $n = \text{I; II; III}$ Wärmeübertrager gemäß Beispiel 1, mit gleichen Strömungsquerschnitten, aber kürzeren freien Rohrlängen so geschaltet, daß bei allen drei Teilen I bis III der Vorrichtung die Gleichstromführung von Luftstrom und Wärmeträgerstrom erhalten bleibt. Diese erfindungsgemäße Variante zeichnet sich durch einen verbesserten Wärmeübergang und vor allem eine verbesserte Abscheidung des kondensierten Wassers aus.

Beispiel 4

Eine im Betriebsverhalten besonders zweckmäßige Variante ist in Fig. 5 dargestellt. Sie ist durch die Parallelschaltung von 2 erfindungsgemäßen Vorrichtungen A und B nach Beispiel 1 gekennzeichnet. Diese erfindungsgemäße Variante ist vor allem für die Bereitstellung sehr großer Volumenströme partiell entfeuchteter Kühlluft geeignet.

Beispiel 5

Eine ökonomische Vorzugsvariante der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist in Fig. 6 dargestellt.

Danach ist der erfindungsgemäßen Grundvariante nach Beispiel 1 ein mit Frischwasser betriebener Frischwasserkühler 21 vorgeschaltet. Er hat am Kopf 22 einen Zuführungsstutzen 23 für den Mantelraum. U-förmig geführte Rippenrohre 24 treten am unteren Teil der Wärmeübertragerhülle 25 ein und am oberen Teil aus. Im unteren Kopfraum 26 des Frischwasserkühlers ist ein Stutzen 27 für den seitlichen Luftaustritt des vorgekühlten und vorentfeuchteten Luftstroms 107 und ein axialer Entwässerungsstutzen 28 mit einem hier nicht bezeichneten Flüssigkeitsniveauregler angebracht.

Eine Rohrleitung 29 führt vom Stutzen 27 für den seitlichen Luftaustritt zum Zuführungsstutzen 3 für den Frischluftstrom der erfindungsgemäßen Vorrichtung nach Beispiel 1; die in Fig. 6 eingezeichnet ist. Die Fläche beträgt nur $A_1 = 30 \text{ m}^2$. Diese erfindungsgemäße Vorrichtung zeichnet sich durch besonders niedrige Betriebskosten und eine besonders gute Entfeuchtung der Kühlluft aus.

Der Frischluftstrom 100 tritt mit einem Volumenstrom $V_{100} = 3000 \text{ m}^3/\text{h}$ mit $t_{100} = +30^\circ\text{C}$ und $Y_{100} = 21,8 \text{ gW/kg Luft}$ ($= p_{w,100} = 3,44 \text{ kPa}$) in den Mantelraum des Frischwasserkühlers 21 ein. – Durch Kühlung mit einem durch die Rippenrohre 24 im kombinierten Kreuz-Gegenstrom zum Frischluftstrom 100 geführten Frischwasserstrom 105, der mit $V_{105} = 3,06 \text{ m}^3/\text{h}$ und $t_{105} = +10^\circ\text{C}$ eintritt, und als Abwasserstrom 106 mit $t_{106} = +21^\circ\text{C}$ austritt, wird eine Vorentfeuchtung auf $Y > 11 \text{ gW/kg Luft}$ erreicht. – Damit kann bei einem kleineren Wärmeübertrager 1 ($A_1 = 30 \text{ m}^2$) mit einer kleinen Wärmeübertragungsleistung von $Q_1 = 26 \text{ kW}$ der geforderte Kühl- und partielle Entfeuchtungszustand mit $t_{104} = +3^\circ\text{C}$ und $Y_{104} = 4,8 \text{ gW/kg L}$ ($= p_{w,104} = 0,75 \text{ kPa}$) besonders sicher erreicht werden.

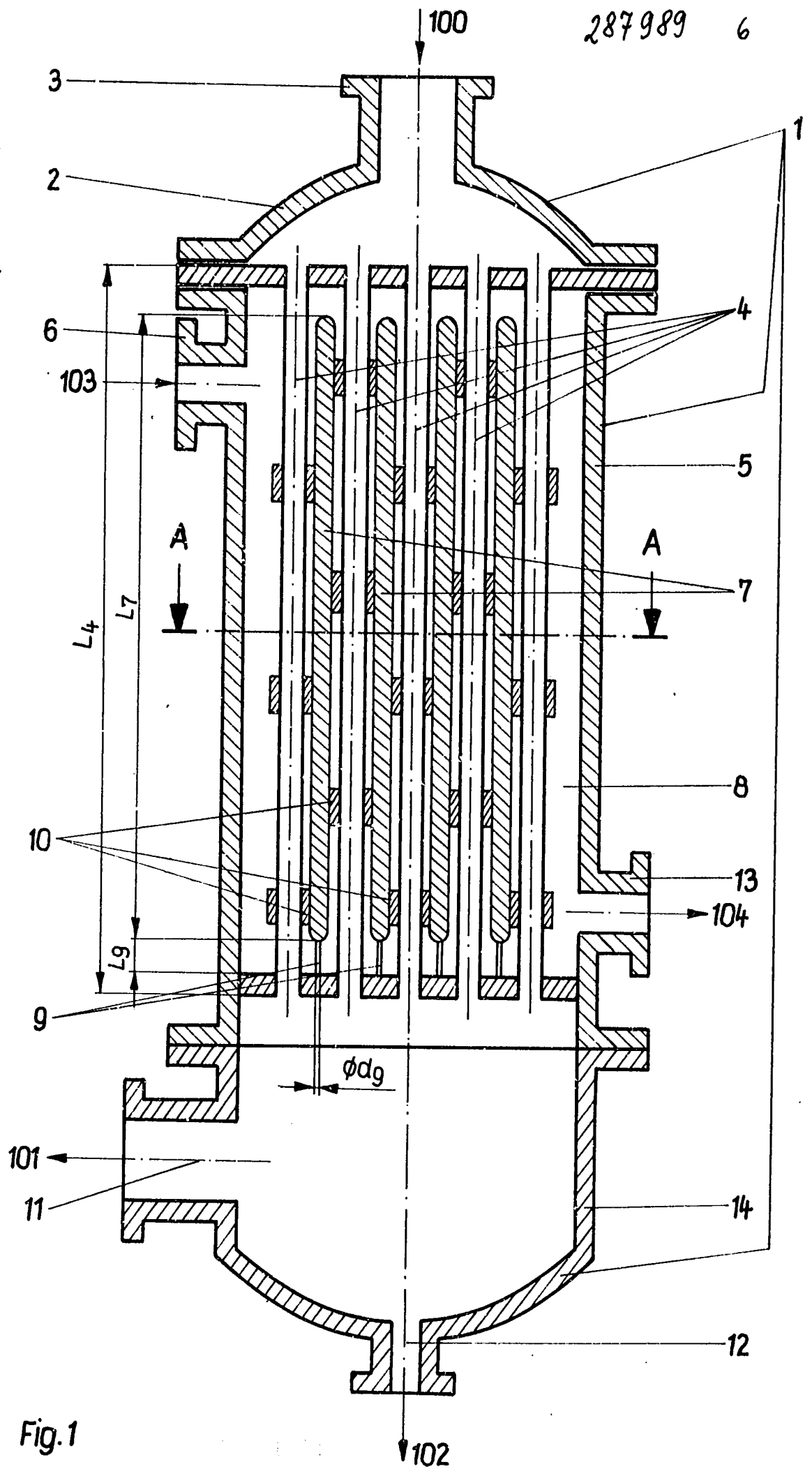


Fig. 1

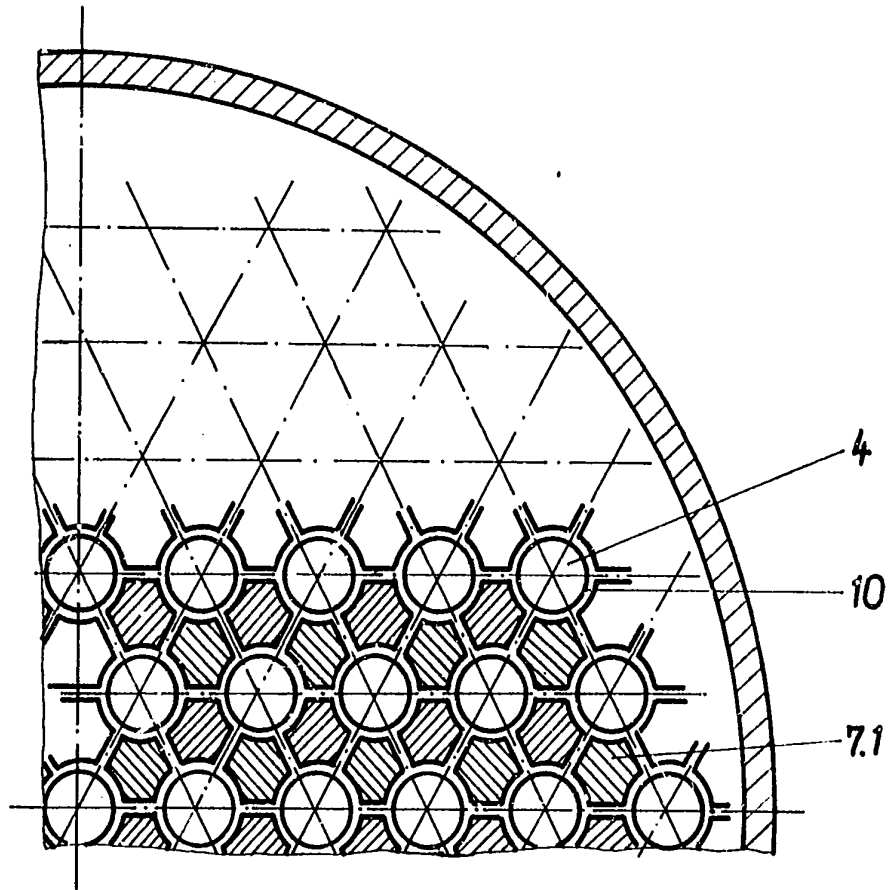


Fig. 2

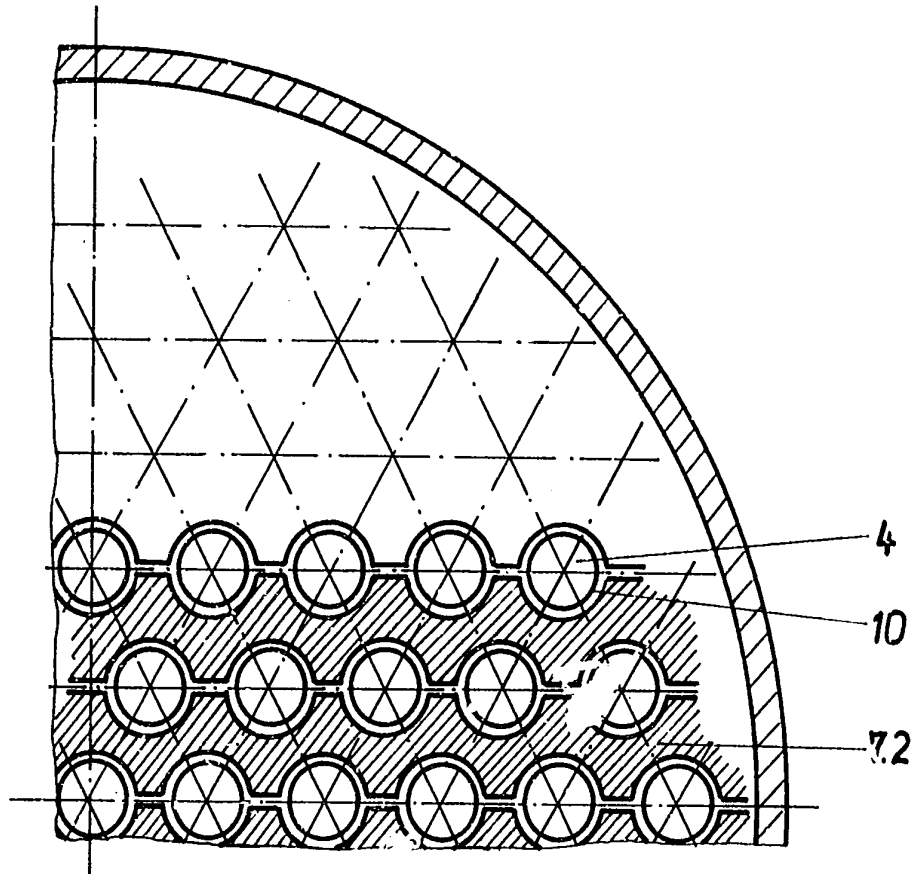


Fig. 3

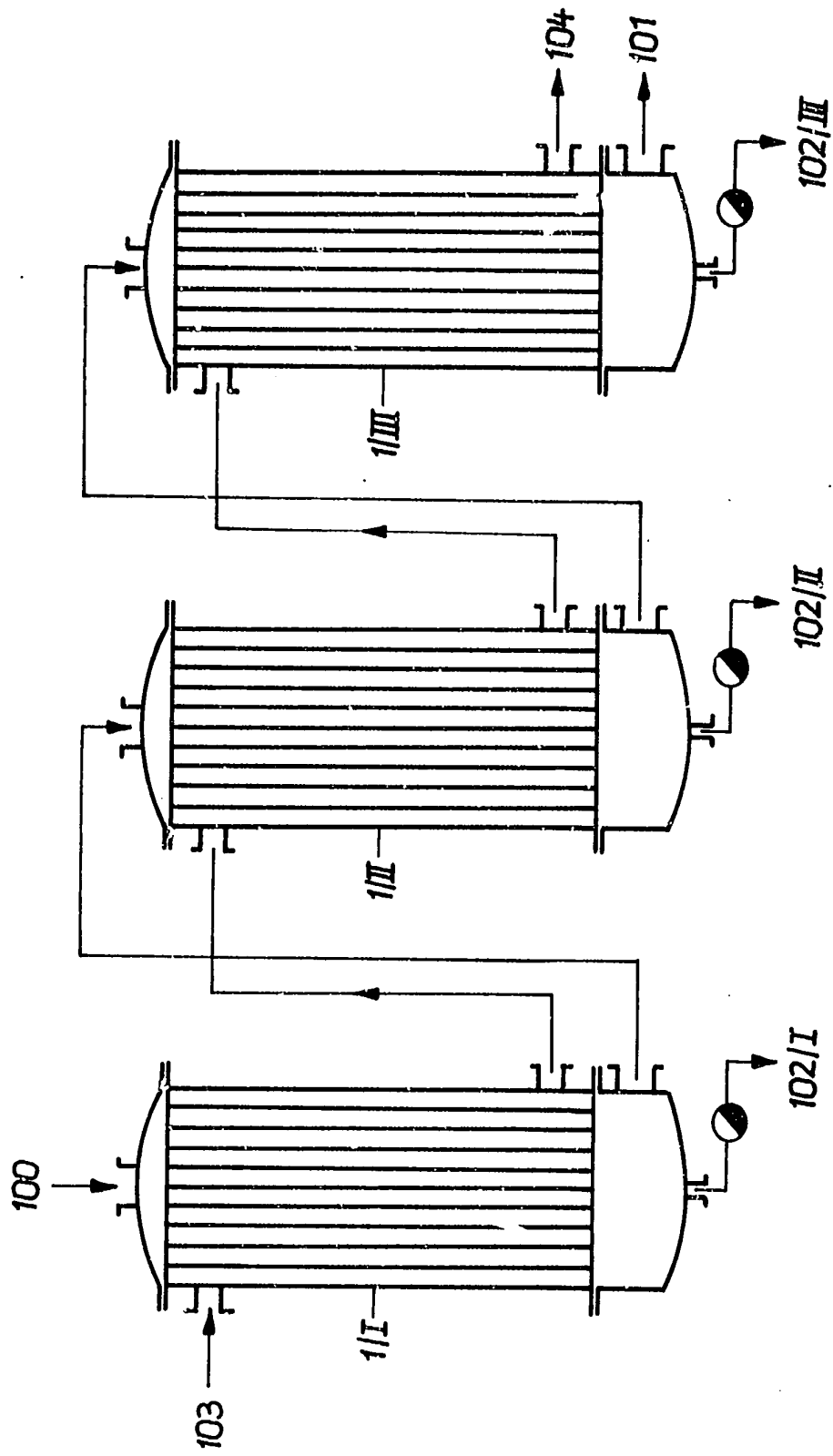


Fig. 4

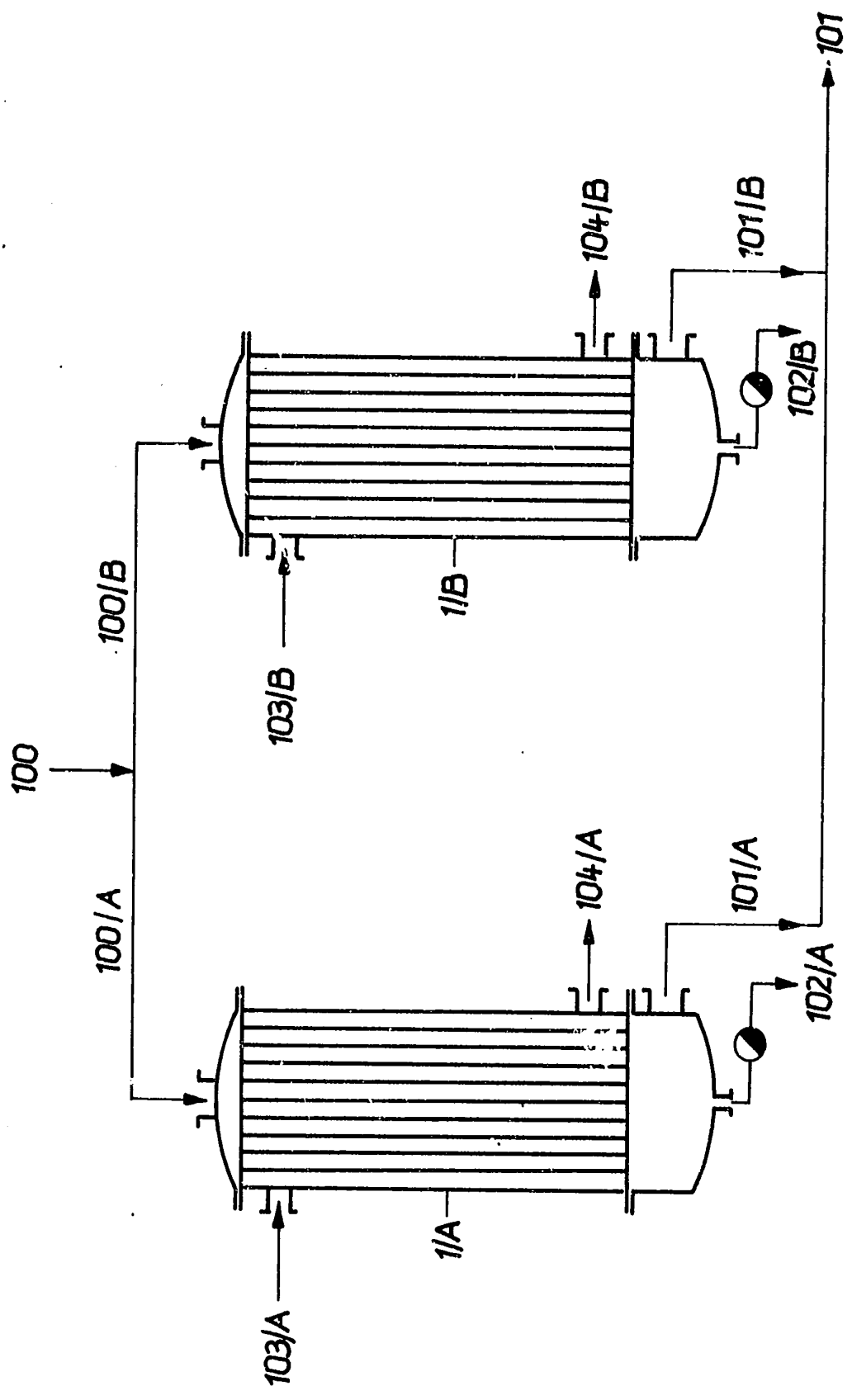


Fig.5

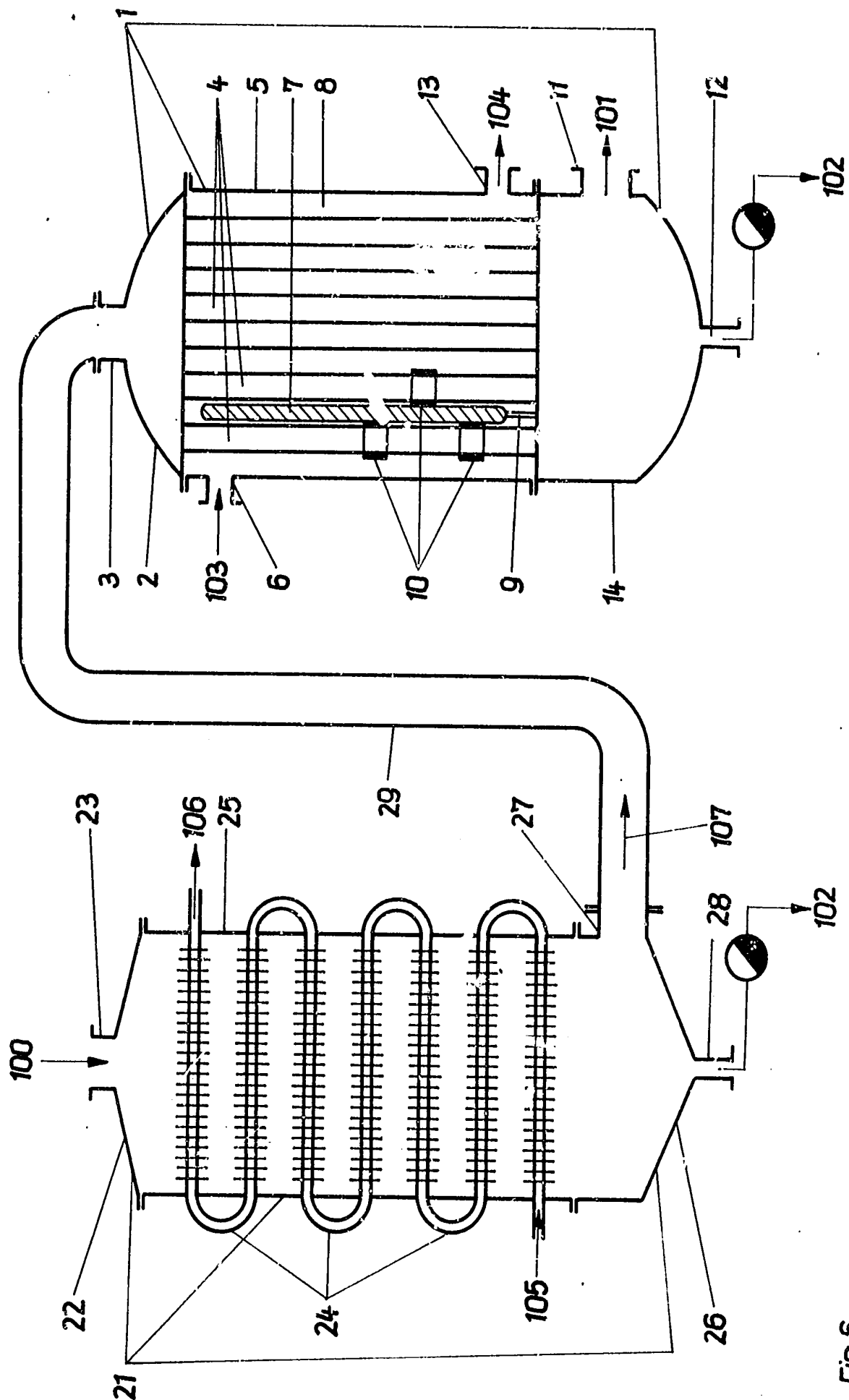


Fig. 6