

(19)



(11)

EP 3 397 912 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
13.11.2019 Patentblatt 2019/46

(51) Int Cl.:
F28D 7/00 (2006.01) **F28D 7/02** (2006.01)
F17C 7/04 (2006.01) **F17C 9/04** (2006.01)
F28D 21/00 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **16742154.4**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/DE2016/000253

(22) Anmeldetag: **17.06.2016**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2017/114518 (06.07.2017 Gazette 2017/27)

(54) **VERFAHREN UND WÄRMEAUSTAUSCHER ZUR RÜCKGEWINNUNG VON KÄLTE BEI DER
REGASIFIZIERUNG TIEFKALTER FLÜSSIGKEITEN**

METHOD AND HEAT EXCHANGER FOR RECOVERING COLD DURING THE RE-GASIFICATION
OF CRYOGENIC LIQUIDS

PROCÉDÉ ET ÉCHANGEUR DE CHALEUR POUR LA RÉCUPÉRATION DE FROID LORS DE LA
REGAZÉIFICATION DE LIQUIDES CRYOGÉNIQUES

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

(30) Priorität: **28.12.2015 DE 102015016889**
18.05.2016 DE 102016006121

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
07.11.2018 Patentblatt 2018/45

(73) Patentinhaber: **Eco ice Kälte GmbH**
04552 Borna (DE)

(72) Erfinder:
• **BRAUN, Rainer**
45721 Haltern am See (DE)
• **OTTO, Peter**
04779 Wermsdorf (DE)

(74) Vertreter: **Kraft, Werner**
Patentanwalt
Neuer Weg 12
04600 Altenburg (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
WO-A1-2004/031644 DE-A1-102008 031 041
US-A- 6 089 022 US-A1- 2012 318 017

EP 3 397 912 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

Anwendungsgebiet

[0001] Die Erfindung betrifft die Rückgewinnung von Kälte bei der Regasifizierung von tiefkalten Flüssigkeiten, insbesondere verflüssigtem Erdgas (LNG, Liquified Natural Gas bei -162°C und 1 bar atmosphärischem Druck), verflüssigtem Stickstoff (LN_2) und verflüssigtem Sauerstoff (LO_2). Dazu werden Verfahrensmerkmale in Verbindung mit einem Wärmeaustauscher zur Realisierung des Verfahrens angegeben. Der Wärmeaustauscher ist für, wenn auch im Vergleich zur Brennstoffenergie relativ kleine, so doch wertvolle Kälteleistung im Bereich unter 100 kW konzipiert und zeichnet sich durch einfache Konstruktionsmerkmale und einfache Bedienbarkeit aus, die einen der Kälteleistung angemessen niedrigen Investitionsaufwand ermöglichen.

Stand der Technik

[0002] Erdgas lässt sich unter atmosphärischem Druck nach Abkühlung auf -162°C und anschließender Abfuhr der Kondensationswärme aus der gasförmigen in die flüssige Phase überführen. Damit ist die Reduktion des Volumens auf das Sechshundertstel des bei 1,013 bar und 15°C gegebenen Wertes verbunden. Verflüssigtes Erdgas ist somit auf attraktive Weise lagerbar und über große Strecken transportierbar. Die zu realisierende, gleichermaßen kostenaufwändige wie wertschöpfende Prozesskette reicht von der Förderung und Aufbereitung über die Verflüssigung, die Lagerung, den Ferntransport mit Tankschiffen, die erneute Lagerung in Großtanks und den nochmaligen Transport zum Verwenden bis zur dortigen Regasifizierung. Das Ende dieser Kette bildet sehr häufig eine sogenannte Satellitenanlage, nämlich ein doppelwandiger, vakuumisolierter LNG-Speicher ohne Verflüssigungseinrichtung. Die Satellitenanlage verfügt über eine Regasifizierungseinrichtung, üblicherweise ein atmosphärischer Verdampfer mit vertikalen längsberippten Rohren, an denen das verflüssigte Erdgas, im folgenden Text mit LNG bezeichnet, verdampft und auf Umgebungstemperatur überhitzt wird, während die erforderliche Wärme aus der Umgebungsluft durch freie Konvektion zugeführt wird.

[0003] Der beschriebene Stand der Technik ist umfangreich in der DE102011081673 "Verfahren und Anlage zur Regasifizierung von Flüssigerdgas" und in weiteren Veröffentlichungen dargelegt, beispielsweise in folgenden Schriften: US6089022 "Regasification of liquefied natural gas (LNG) aboard a transport vessel", US 6367265 "Vaporizer for a low temperature liquid", US 6367429 "Intermediate fluid type vaporizer" und WO 2004031644 "Regasification system and method".

[0004] Unbefriedigend ist, dass das vorhandene energetische Potential im LNG in Form von Kälte bei der Regasifizierung ungenutzt bleibt.

[0005] Daraus ergibt sich das Ziel der Erfindung, näm-

lich die besonders einfach gestaltete Nutzbarmachung der in diesem Prozess freiwerdenden, wenn auch im Vergleich zur Brennstoffenergie relativ kleinen, so doch wertvollen Kälte im Bereich unter 100 kW und zwar auf einem für den praktischen Bedarf nachgefragten mäßig tiefen Temperaturniveau oberhalb -60°C , z.B. für die Tieftemperaturlagerung oder die Kältespeicherung mit Phase Change Material (PCM).

Aufgabenstellung

[0006] Die erfinderische Aufgabenstellung ist somit in der Angabe von technologischen und apparativen Merkmalen zu sehen, die es ermöglichen, die vorgenannte Zielstellung zu erreichen.

[0007] Basierend auf der vorzuschlagenden Verfahrensweise ist ein Wärmeaustauscher für Temperaturniveaus oberhalb von -60°C zu entwickeln, der die bei der Regasifizierung der tiefkalten Flüssigkeiten auftretenden großen Temperaturdifferenzen beherrscht. Tiefkalte Flüssigkeiten im Sinne der Erfindung sind einleitend näher spezifiziert.

Lösung der Aufgabenstellung

[0008] Die Lösung der Aufgabenstellung ist im Hauptanspruch 1 angegeben. Die jeweils untergeordneten Ansprüche enthalten zweckmäßige Ausgestaltungen.

Erfindungsgemäß wird Folgendes vorgeschlagen:

[0009] Verfahrensseitig wird die Kälte des LNG auf einen flüssigen Kälteträger übertragen, der bis hinab zum Temperaturniveau von ca. -60°C eingesetzt werden soll, dabei ohne Phasenwechsel und damit sicher pumpbar bleibt. Vorteilhaft verwendbar ist beispielsweise Therminol D12, eine synthetische Flüssigkeit auf der Basis aliphatischer Kohlenwasserstoffe.

[0010] Die Energieübertragung erfolgt allerdings nicht direkt auf den flüssigen Kälteträger, sondern zunächst auf ein Zwischenmedium (intermediate fluid) und von diesem dann auf den flüssigen Kälteträger. Die Verwendung des Zwischenmediums dient der Überwindung der zwischen der zu regasifizierenden tiefkalten Flüssigkeit und dem Kälteträger vorhandenen großen Temperaturdifferenz ohne dass der Kälteträger zu stark abkühlt, bis hin zum Erstarren des Selben. Die Temperatur des Zwischenmediums und damit die seriellen treibenden Temperaturdifferenzen sind erfindungsgemäß mit Hilfe der apparativen Konzipierung der Wärmeübertragung, insbesondere über die Wärmeübertragungsflächen, frei einstellbar. Wegen seiner günstig liegenden Erstarrungslinie, die Tripelpunktdata sind $-187,7^{\circ}\text{C}$ und 0,0002 Pa, und wegen der durch Verdampfung und Kondensation gegebenen sehr guten Wärmeübertragungseigenschaften wird bevorzugt Propan als Zwischenmedium eingesetzt.

[0011] Die Wärmeübertragung über dieses Zwischenmedium erfolgt bei einer wählbaren Zwischentemperatur durch Verdampfen und Kondensieren im Naturumlauf, also ohne den Einsatz einer Pumpe, in einem erfindungsgemäßen Wärmeaustauscher für Kälteleistungen unter 100 kW.

[0012] Dieser Wärmeaustauscher ist zweckmäßig als Zylinder in Vertikalausrichtung ausgeführt und oben und unten durch Klöpperböden verschlossen.

[0013] Der so realisierte Behälter enthält im oberen Teil wenigstens einen Oberflächenwärmeaustauscher zur Verdampfung der tiefkalten Flüssigkeit, beispielsweise LNG, und im unteren Teil mindestens einen weiteren Oberflächenwärmeaustauscher zur Abkühlung des flüssigen Kälteträgers.

[0014] Zur Realisierung des Wärmetransports innerhalb des hermetisch geschlossenen Behälters ist dieser mit dem Zwischenmedium, vorzugsweise Propan, gefüllt, welches sicher gekapselt ist. Das Propan ist im unteren Bereich bis zum Füllstand eine siedende Flüssigkeit und im oberen Bereich oberhalb des Füllstandes kondensierender Sattedampf.

[0015] Beide Oberflächenwärmeaustauscher sind als Rohrwendeln ausgeführt.

[0016] Vorteilhafterweise sind diese mehrfach angeordnet, wobei eine zahlenmäßige Symmetrie nicht zwingend erforderlich ist.

[0017] Der Wärmeübergang vom kondensierenden Propan an die zu regasifizierende, tiefkalte Flüssigkeit erfolgt somit über die oberen Rohrwendeln. Diese ragen von oben her frei nach unten in den Behälterinnenraum. Gleichmaßen ragen die unteren Rohrwendeln von unten her frei nach oben in den Behälterinnenraum.

[0018] Als Befestigungen am Behälter sind zweckmäßig die den Rohrwendeln zugeordneten Sammelrohre nutzbar, wobei auch andere Befestigungslösungen realisierbar sind.

[0019] Der Wärmeübergang vom zu kühlenden Kälte-träger an das flüssige Zwischenmedium kann an den unteren Rohrwendeln erfolgen.

[0020] Mit der Wahl des Werkstoffes Edelstahl für Behälter und Rohrwendeln sind eine ausreichende Tieftemperaturfähigkeit und eine hohe Korrosionsbeständigkeit garantiert.

[0021] Der Einsatz von Rohrwendeln ermöglicht es, auf engem Raum relativ große Wärmeübertragungsflächen unterzubringen.

[0022] Der Wärmeübergang von den oberen Rohrwendeln an die zu verdampfende tiefkalte Flüssigkeit ist wegen des langen Strömungsweges und der sich auf einer Kreisbahn ergebenden Sekundärströmung im Inneren der Rohrwendel besonders wirksam. Hier liegt der größte Transportwiderstand vor, dessen Reduzierung einen besonders positiven Einfluss auf den gesamten Wärmedurchgang zur Folge hat. Der Einsatz eines Turbulators kann diesen Transportwiderstand weiter verringern.

[0023] Wie bereits erwähnt, befinden sich im unteren Teil des zylindrischen Behälters weitere von unten her

frei in den Innenraum ragende Rohrwendeln, wenigstens aber eine Rohrwendel. Hier gibt der Kälte-träger die zur Verdampfung des Zwischenmediums Propan erforderliche Wärme in der vorbeschriebenen Weise ab. Dies führt auch hier zu einem sehr guten Wärmedurchgang, weil hier kälte-trägerseitig der größte Transportwiderstand vorliegt.

[0024] Der zylindrische Behälter wird nach seiner Evakuierung mit dem Zwischenmedium, vorzugsweise Propan, unter Berücksichtigung von Temperatur, Dichte und Masse nachhaltig so gefüllt, dass die oberen Rohrwendeln bei jedem nachfolgenden Betriebszustand frei bleiben, während die unteren Rohrwendeln von flüssigem Zwischenmedium im Siedezustand völlig geflutet sind.

[0025] Dies setzt erfindungsgemäß die Berücksichtigung eines angemessenen Abstandes zwischen den oberen und den unteren Rohrwendeln voraus.

[0026] Dieser Abstand kann mit Hilfe der Stoffwerte des Zwischenmediums berechnet werden. Er entspricht in etwa dem Durchmesser der Rohrwendeln.

[0027] Kennzeichnende Stoffwerte des Zwischenmediums Propan sind Folgende:

Bei 25°C beträgt der Druck des Propans (Sattedampf und Flüssigkeit im Siedezustand befinden sich im Phasengleichgewicht.) ca. 9,6 bar. Die Dichte der Flüssigkeit beträgt dann ca. 492 kg/m³.

[0028] Bei -70°C stellt sich das Phasengleichgewicht bei ca. 0,27 bar ein. Die Dichte der flüssigen Phase ist dann ca. 612 kg/m³.

[0029] Mit Hilfe der beabstandeten Anordnung der Rohrwendeln im Behälter und mit deren Dimensionierung, sprich Konzipierung der Wärmeübertragungsflächen, die die Temperatur des im Naturumlauf verdampfenden und kondensierenden Zwischenmediums festlegt und eine inhärente Sicherheit derart erreicht, dass das mit dem Abschalten des Wärmeaustauschers durch Unterbrechung des Kälte-träger- und des LNG- Massstromes einhergehende thermische Gleichgewicht nie zu einer Erstarrung des Kälte-trägers führt.

Ausführungsbeispiele

[0030] Die nachfolgenden Ausführungsbeispiele sind auf die Regasifizierung von tiefkalten in einem Satelliten-Tanklager gelagerten verflüssigten Erdgas LNG (Liquified Natural Gas) bezogen. Bei 1 bar LNG- Lagerdruck beträgt dessen Temperatur ca. -162°C und bei 5 bar LNG- Lagerdruck ca. -138°C.

[0031] In den Ausführungsbeispielen werden das erfindungsgemäße Verfahren zur Gewinnung von Kälte aus verflüssigten Erdgas (LNG) in Verbindung mit Wärmeaustauschern für Kälte-träger- Temperaturniveaus oberhalb von -60°C und für Kälteleistungen im Bereich unterhalb 100 kW, an Hand von Zeichnungen näher erläutert. Die verwendeten Wärmeaustauscher unterscheiden sich dabei in der apparativen Gestaltung.

[0032] Ein erfindungsgemäßer Wärmeaustauscher ist in Figur 1 als Schnitt entlang seiner vertikalen System-

achse dargestellt.

Es handelt sich um einen zylindrischen Behälter 1 in Vertikalausrichtung, der mit einem oberen und einem unteren Klöpperboden 2 bzw. 3 abgeschlossen und mit einer Isolierung 5 ganzheitlich ummantelt ist.

Im Bereich des oberen Klöpperbodens 2 ist eine Rohrwendel 6 und am unteren Klöpperboden 3 eine Rohrwendel 7 mittelbar oder unmittelbar jeweils in frei in das Behälterinnere hineinragender Weise angeordnet. Die Befestigung am Behälter 1 ist jeweils nur einseitig realisiert. Zum Zweck des Wärmetransports innerhalb des hermetisch geschlossenen Behälters 1 ist dieser mit dem Zwischenmedium 8, nämlich Propan 8 gefüllt, welches damit sicher gekapselt ist. Der Füllstand 9 des flüssigen Zwischenmediums 8 im Behälter 1 ist so eingestellt, dass die obere Rohrwendel 6 bei jedem Betriebszustand von gasförmigen Zwischenmedium 8.1 umgeben und die untere Rohrwendel 7 mit flüssigem Zwischenmedium 8.2 geflutet ist. Dazu ist zwischen den beiden Rohrwendeln 6 und 7 ein angemessener Abstand von etwa dem Durchmesser der Rohrwendel 6 bzw. 7 vorhanden und die entsprechende Masse des Zwischenmediums 8 in den Behälter eingefüllt.

[0033] Der Behälter 1 und die Rohrwendeln 6 und 7 sind vorteilhaft aus Edelstahl gefertigt. Damit sind eine ausreichende Tiefkaltzähigkeit und eine hohe Korrosionsbeständigkeit garantiert.

Der Wärmeübergang vom kondensierenden Propan-Sattdampf 8.1 an die zu regasifizierende, tiefkalte Flüssigkeit LNG erfolgt somit über die obere Rohrwendel 6. Diese ragt, wie bereits ausgeführt, von oben her frei nach unten in den Behälterinnenraum. Das hat den Vorteil, dass mechanische Spannungen in Folge der im Betrieb auftretenden großen zeitlichen Temperaturänderungen ausreichend vermieden werden.

Der Wärmeübergang vom zu kühlenden Kälte­träger an das flüssige, siedende Propan 8.2 erfolgt an der unteren Rohrwendel 7.

Da die untere Rohrwendel 7 in gleicher Art und Weise mit dem unteren Bereich des Behälters mechanisch verbunden ist, ergeben sich die beschriebenen Vorteile dieser Anbringung für diese analog zur oberen Rohrwendel 6.

Als Kälte­träger kommt vorteilhafterweise Therminol D12 zum Einsatz.

[0034] Ein weiterer erfindungsgemäßer Wärmeaustauscher ist in Figur 2 ebenfalls als Schnitt entlang seiner vertikalen Systemachse dargestellt.

Er unterscheidet sich zum vorbeschriebenen Wärmeaustauscher dadurch, dass sowohl die Rohrwendel 6 als auch die Rohrwendel 7 in Mehrfachanordnung im Behälter 1 in ansonsten analoger Bauweise vorhanden sind. Im gewählten Beispiel sind jeweils sieben Rohrwendeln 6 und 7 angeordnet. Alle übrigen Merkmale sind abgesehen von konstruktiven Anpassungen übernommen. Als vorteilhaft hat sich erwiesen, den Zufluss 10 des LNG unter Zwischenschaltung eines Verteilers 15 direkt zu gestalten und den Abfluss 11 des regasifizierten LNG

über ein Sammelrohr 16 im oberen Teil des Behälters 1 zu realisieren. Der Zufluss 12 des Kälte­trägers zu den Rohrwendeln 7 erfolgt ebenfalls unter Zwischenschaltung eines Verteilers 15 direkt, während der Abfluss 13 über ein weiteres Sammelrohr 16 im unteren Teil des Behälters 1 realisiert ist. Die beiden Sammelrohre 16 können alternativ auch außerhalb des Behälters 1 angeordnet werden. Es empfiehlt sich, die Sammelrohre 16 zur jeweils einseitigen Befestigung der Rohrwendeln 6 und 7 am Behälter 1 zu nutzen. Abhängig von den Einsatzbedingungen sind die oberen und/oder die unteren Rohrwendeln 6 bzw. 7 einzeln bzw. bündelweise anschließbar.

[0035] Verfahrensgemäß ermöglichen die beschriebenen erfindungsgemäßen Wärmeaustauscher einen effektiven Wärmetransport von dem zu kühlenden Kälte­träger an das siedende Zwischenmedium 8.2 im Bereich der unteren Rohrwendel bzw. Rohrwendeln 7 und von dem kondensierenden, gasförmigen Zwischenmedium 8.1 an die zu verdampfende tiefkalte Flüssigkeit im Bereich der oberen Rohrwendel bzw. Rohrwendeln 6. Der Naturumlauf des Zwischenmediums kommt durch das Abtropfen des Kondensates von der bzw. den oberen Rohrwendeln 6 zu Stande.

Bezugszeichenliste

[0036]

- | | | |
|----|-----|--|
| 30 | 1 | Behälter, |
| | 2 | oberer Klöpperboden, |
| | 3 | unterer Klöpperboden, |
| | 4 | Drucktransmitter, |
| | 5 | Isolierung, |
| 35 | 6 | obere Rohrwendel, |
| | 7 | untere Rohrwendel, |
| | 8 | Zwischenmedium, beispielsweise Propan, |
| | 8.1 | Zwischenmedium, beispielsweise Propan, gasförmig, kondensierend; Propan- Sattdampf, |
| 40 | 8.2 | Zwischenmedium, beispielsweise Propan, flüssig bzw. siedend, |
| | 9 | Füllstand des flüssigen Zwischenmediums; Propan 8 im Siedezustand, |
| | 10 | Zufluss des LNG zur Rohrwendel 6 bzw. zu den Rohrwendeln 6, |
| 45 | 11 | Abfluss des regasifizierten LNG aus der Rohrwendel 6 bzw. aus den Rohrwendeln 6, |
| | 12 | Zufluss des Kälte­trägers zur Rohrwendel 7 bzw. zu den Rohrwendeln 7, |
| 50 | 13 | Abfluss des Kälte­trägers aus der Rohrwendel 7 bzw. aus den Rohrwendeln 7, |
| | 14 | Vorrichtung zum Entleeren und Befüllen mit Zwischenmedium 8, zum Beispiel mit Propan 8 |
| | 15 | Verteiler, |
| 55 | 16 | Sammelrohr. |

Patentansprüche

1. Verfahren zur Rückgewinnung von Kälte bei der Regasifizierung tiefkalter Flüssigkeiten, nämlich verflüssigtem Erdgas (LNG), verflüssigtem Stickstoff (LN2) oder verflüssigtem Sauerstoff (LO2), **dadurch gekennzeichnet**,
dass die Kälte der tiefkalten Flüssigkeit in einem Wärmeaustauscher, der für Kälteleistungen im Bereich unter 100 kW konzipiert ist, zunächst auf ein Zwischenmedium (8) und anschließend von diesem auf einen flüssigen Kälteträger übertragen wird, wobei der Kälteträger bis hinab zu einem Temperaturniveau von -60°C ohne Phasenwechsel bleibt und damit sicher pumpbar ist, **und dass** die Wärmeübertragung ferner durch Verdampfen und Kondensieren ohne Pumpeneinsatz im Naturumlauf im Wärmeaustauscher erfolgt, wobei die Temperatur des Zwischenmediums (8) im Bereich von -20 °C bis -100°C durch die Konzipierung der Wärmeübertragung und der sie treibenden Temperaturdifferenzen frei wählbar ist, nämlich dadurch,
dass der Wärmeaustauscher ein hermetisch geschlossener, ganzheitlich mit einer Isolierung (5) ummantelter Behälter (1) mit einem oberen und einem unteren Klöpperboden (2; 3) in Vertikalausrichtung ist,
dass eine Rohrwendel (6) im Bereich des oberen Klöpperbodens (2) und wenigstens eine Rohrwendel (7) im Bereich des unteren Klöpperbodens (3) bei Einhaltung eines Abstandes zwischen den Rohrwendeln (6 und 7) angeordnet sind,
dass der hermetisch geschlossene Behälter (1) mit einem somit gekapselten Zwischenmedium (8) mit einem Füllstand (9) zwischen den oberen und den unteren Rohrwendeln (6 und 7) zur Realisierung des Wärmetransports innerhalb des Behälters (1) befüllt ist, wobei die unteren Rohrwendeln (7) bei jedem Betriebszustand mit flüssigem Zwischenmedium im Siedezustand (8.2) geflutet sind, während die oberen Rohrwendeln (6) von Sattdampf (8.1) umgeben sind, der im Betrieb bei Wärmeabgabe an den Rohrwendeln (6) kondensiert,
dass die Rohrwendeln (6 und/oder 7) in Einzel- bzw. Mehrfachanordnung vorhanden sind,
dass mittels des Zuflusses (10) und des Abflusses (11) der tiefkalten Flüssigkeit (LNG) über die Rohrwendel (6), bei Mehrfachanordnung über die Rohrwendeln (6) und das zugehörige Sammelrohr (16), ein Wärmetransport vom kondensierenden Zwischenmedium (8.1) an die zu regasifizierende tiefkalte Flüssigkeit (LNG) ermöglicht ist,
und dass der Wärmetransport vom zu kühlenden Kälteträger an das flüssige Zwischenmedium (8.2) mittels Zufluss (12) und Abfluss (13) des Kälteträgers über die Rohrwendel (7), bei Mehrfachanordnung über die Rohrwendeln (7) und das zugehörige Sammelrohr (16), realisiert ist.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**,
dass ein flüssiger Kälteträger verwendet wird, dessen Erstarrungstemperatur tiefer als -60°C ist.
3. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**,
dass als Zwischenmedium (8) Propan (8) verwendet wird.
4. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**,
dass die Temperatur des im Naturumlauf verdampfenden und kondensierenden Zwischenmediums (8) wesentlich durch die apparative bzw. konstruktive Gestaltung der Wärmeübertragung, d.h., der Strömungen und der Wärmeübertragungsflächen der Rohrwendeln (6 und 7) so festlegbar ist, dass das mit dem Abschalten des Wärmeaustauschers durch Unterbrechung des Kälteträger- und LNG- Massensstroms einhergehende thermische Gleichgewicht nie zu einer Erstarrung des Kälteträgers führt.
5. Wärmeaustauscher zur Rückgewinnung von Kälte bei der Regasifizierung tiefkalter Flüssigkeiten, nämlich verflüssigtem Erdgas (LNG), verflüssigtem Stickstoff (LN2) oder verflüssigtem Sauerstoff (LO2), **gekennzeichnet dadurch**,
dass der Wärmeaustauscher ein hermetisch geschlossener, ganzheitlich mit einer Isolierung (5) ummantelter Behälter (1) mit einem oberen und einem unteren Klöpperboden (2; 3) in Vertikalausrichtung ist,
dass eine Rohrwendel (6) im Bereich des oberen Klöpperbodens (2) und wenigstens eine Rohrwendel (7) im Bereich des unteren Klöpperbodens (3) bei Einhaltung eines Abstandes zwischen den Rohrwendeln (6 und 7) angeordnet sind,
dass der hermetisch geschlossene Behälter (1) mit einem somit gekapselten Zwischenmedium (8) mit einem Füllstand (9) zwischen den oberen und den unteren Rohrwendeln (6 und 7) zur Realisierung des Wärmetransports innerhalb des Behälters (1) befüllt ist, wobei die unteren Rohrwendeln (7) bei jedem Betriebszustand mit flüssigem Zwischenmedium im Siedezustand (8.2) geflutet sind, während die oberen Rohrwendeln (6) von Sattdampf (8.1) umgeben sind, der im Betrieb bei Wärmeabgabe an den Rohrwendeln (6) kondensiert,
und wobei die Rohrwendeln (6 und/oder 7) in Einzel- bzw. Mehrfachanordnung vorhanden sind, **dass** mittels des Zuflusses (10) und des Abflusses (11) der tiefkalten Flüssigkeit (LNG) über die Rohrwendel (6), bei Mehrfachanordnung über die Rohrwendeln (6) und das zugehörige Sammelrohr (16), ein Wärmetransport vom kondensierenden Zwischenmedium (8.1) an die zu regasifizierende tiefkalte Flüssigkeit (LNG) ermöglicht ist,

- und dass** der Wärmetransport vom zu kühlenden Kälteträger an das flüssige Zwischenmedium (8.2) mittels Zufluss (12) und Abfluss (13) des Kälteträgers über die Rohrwendel (7), bei Mehrfachanordnung über die Rohrwendeln (7) und das zugehörige Sammelrohr (16), realisiert ist.
6. Wärmeaustauscher nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**,
dass zwischen den Rohrwendeln (6 und 7) ein berechenbarer Abstand von wenigstens dem Durchmesser der Rohrwendeln (6 bzw. 7) realisiert ist, der sicherstellt, dass die oberen Rohrwendeln (6) bei jedem Betriebszustand von Sattedampf (8.1) umgeben und die unteren Rohrwendeln (7) von flüssigem Zwischenmedium im Siedezustand (8.2) völlig geflutet sind.
7. Wärmeaustauscher nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**,
dass die Rohrwendeln (6 und 7) jeweils frei in das Behälterinnere hineinragen bei jeweils einseitiger Befestigung am Behälter (1).
8. Wärmeaustauscher nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**,
dass der Behälter (1) und die Rohrwendeln (6 und 7) aus Edelstahl gefertigt sind.
9. Wärmeaustauscher nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**,
dass innerhalb der Rohrwendeln (6 und 7) jeweils eine Kreisströmung realisiert ist.
10. Wärmeaustauscher nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**,
dass Turbulatoren eingesetzt sind.
11. Wärmeaustauscher nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**,
dass bei Anordnung mehrerer Rohrwendeln (6) der Zufluss (10) des LNG unter Zwischenschaltung eines Verteilers (15) direkt und der Abfluss (11) des regasifizierten LNG über ein Sammelrohr (16) im oberen Teil des Behälters (1) realisiert ist.
12. Wärmeaustauscher nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**,
dass bei Anordnung mehrerer Rohrwendeln (7) der Zufluss (12) des Kälteträgers unter Zwischenschaltung eines Verteilers (15) direkt und der Abfluss (13) des Kälteträgers über ein Sammelrohr (16) im unteren Teil des Behälters (1) realisiert ist.
13. Wärmeaustauscher nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**,
dass bei Anordnung mehrerer Rohrwendeln (6 bzw. 7) die Sammelrohre (16) sowohl innerhalb als alternativ auch außerhalb des Behälters (1) anordenbar sind.
14. Wärmeaustauscher nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**,
dass die Sammelrohre (16) zur einseitigen Befestigung der Rohrwendeln (6 bzw. 7) nutzbar sind.
- ### Claims
1. Method for recovering cold during the re-gasification of cryogenic liquids, namely of liquefied natural gas (LNG), liquefied nitrogen (LN2), or liquefied oxygen (LO2), **characterized in that** the cold of the cryogenic liquid, in a heat exchanger, which is designed for refrigerating capacities in the region of less than 100 kW, is initially transferred to an intermediate medium (8), and subsequently from the latter to a liquid coolant medium, while the coolant medium remains without phase change down to a temperature level of -60°C, and thus is safely pumpable, **and in that** the heat transfer, furthermore, takes place by evaporation and condensation without using any pump during natural circulation in the heat exchanger, while the temperature of the intermediate medium (8), due to the design of heat transfer and of the temperature differences driving heat transfer, is freely selectable in a range of between -20 °C and -100°C, namely by the fact that the heat exchanger is an hermetically sealed vessel (1) integrally jacketed with an insulation (5), and having an upper and a lower torospherical head (2; 3) in vertical alignment, that a coiled tube (6) is located in the in the area of the upper torospherical head (2) and at least one coiled tube (7) is arranged in the area of the lower torospherical head (3) while observing a distance between the coiled tubes (6 and 7), that the hermetically sealed vessel (1) is filled with an intermediate medium (8) thus encapsulated, with a fill level (9) between the upper and the lower coiled tubes (6 and 7) for implementing the heat transport inside the vessel (1), while the lower coiled tubes (7) are flooded with liquid intermediate medium in the boiling state (8.2) in every operating state, while the upper coiled tubes (6) are surrounded with saturated steam (8.1) which condensates at the coiled tubes (6) when releasing heat during operation, that the coiled tubes (6 and/or 7) are installed in a single arrangement or in multiple arrangements, that the inflow (10) and the outflow (11) of the cryogenic liquid (LNG) via the coiled tube (6), or, in multiple arrangements, via the coiled tubes (6) and the corresponding header tube (16), allow a heat transport from the condensing intermediate medium (8.1) to the cryogenic liquid (LNG) to be re-gasified, and that the heat transport from the coolant medium

- to be cooled to the liquid intermediate medium (8.2) is implemented using the inflow (12) and the outflow (13) of the coolant medium via the coiled tube (7), or, in multiple arrangements, via the coiled tubes (7) and the corresponding header tube (16).
2. A method as claimed in claim 1, **characterized in that** a liquid cooling medium is used which has a solidification temperature lower than -60°C .
 3. A method as claimed in claim 1, **characterized in that** propane (8) is used as intermediate medium (8).
 4. A method as claimed in claim 1, **characterized in that** the temperature of the intermediate medium (8) evaporating and condensing during natural circulation is essentially definable by the instrumental design or constructional design of heat transfer, i.e., of the flows and heat transfer surfaces of the coiled tubes (6 and 7) so as to make certain that the thermal equilibrium accompanying the cut-off of the heat exchanger by interrupting the coolant medium and LNG mass flows never leads to the solidification of the cooling medium.
 5. Heat exchanger for recovering cold during the re-gasification of cryogenic liquids, namely of liquefied natural gas (LNG), liquefied nitrogen (LN2) or liquefied oxygen (LO2), **characterized in that** the heat exchanger is an hermetically sealed vessel (1) integrally jacketed with an insulation (5), and having an upper and a lower torospherical head (2; 3) in vertical alignment, **in that** a coiled tube (6) is located in the area of the upper torospherical head (2) and at least one coiled tube (7) is arranged in the area of the lower torospherical head (3) while observing a distance between the coiled tubes (6 and 7), **in that** the hermetically sealed vessel (1) is filled with an intermediate medium (8) thus encapsulated, with a fill level (9) between the upper and the lower coiled tubes (6 and 7) for implementing the heat transport inside the vessel (1), while the lower coiled tubes (7) are flooded with liquid intermediate medium in the boiling state (8.2) in every operating state, while the upper coiled tubes (6) are surrounded with saturated steam (8.1) which condensates at the coiled tubes (6) when releasing heat during operation, and while the coiled tubes (6 and/or 7) are present in a single arrangement or in multiple arrangements, **in that** the inflow (10) and the outflow (11) of the cryogenic liquid (LNG) via the coiled tube (6), or, in multiple arrangements, via the coiled tubes (6) and the corresponding header tube (16) allow a heat transport from the condensing intermediate medium (8.1) to the cryogenic liquid (LNG) to be re-gasified, **and in that** the heat transport from the coolant medium to be cooled to the liquid intermediate medium (8.2) is implemented using the inflow (12) and the outflow (13) of the coolant medium via the coiled tube (7), or, in multiple arrangements, via the coiled tubes (7) and the corresponding header tube (16).
 6. Heat exchanger as claimed in claim 5, **characterized in that**, between the coiled tubes (6 and 7), a computable distance of at least the diameter of the coiled tubes (6 or, respectively, 7) is implemented, which makes certain that, in every operating state, the upper coiled tubes (6) are surrounded with saturated steam (8.1) and the lower coiled tubes (7) are completely flooded with liquid intermediate medium in the boiling state (8.2).
 7. Heat exchanger as claimed in claim 5, **characterized in that** the coiled tubes (6 and 7) each project freely into the vessel interior with each being fastened on one side to the vessel (1).
 8. Heat exchanger as claimed in claim 5, **characterized in that** the vessel (1) and the coiled tubes (6 and 7) are made of stainless steel.
 9. Heat exchanger as claimed in claim 5, **characterized in that**, inside the coiled tubes (6 and 7), a circular flow is implemented each.
 10. Heat exchanger as claimed in claim 5, **characterized in that** turbulators are used.
 11. Heat exchanger as claimed in claim 5, **characterized in that**, in arrangements with several coiled tubes (6), the inflow (10) of the LNG is implemented directly with the interposition of a manifold (15), and the outflow (11) of the re-gasified LNG via a header tube (16) in the upper part of the vessel (1).
 12. Heat exchanger as claimed in claim 5, **characterized in that**, in arrangements with several coiled tubes (7), the inflow (12) of the coolant medium is implemented directly with the interposition of a manifold (15), and the outflow (13) of the coolant medium via a header tube (16) in the lower part of the vessel (1).
 13. Heat exchanger as claimed in claim 5, **characterized in that**, in arrangements with several coiled tubes (6 or, respectively 7), the header tubes (16) can be arranged both inside and, as an alternative, also outside the vessel (1).
 14. Heat exchanger as claimed in claim 5, **characterized in that** the header tubes (16) are usable for the one-sided fastening of the coiled tubes (6 or, respectively 7).

Revendications

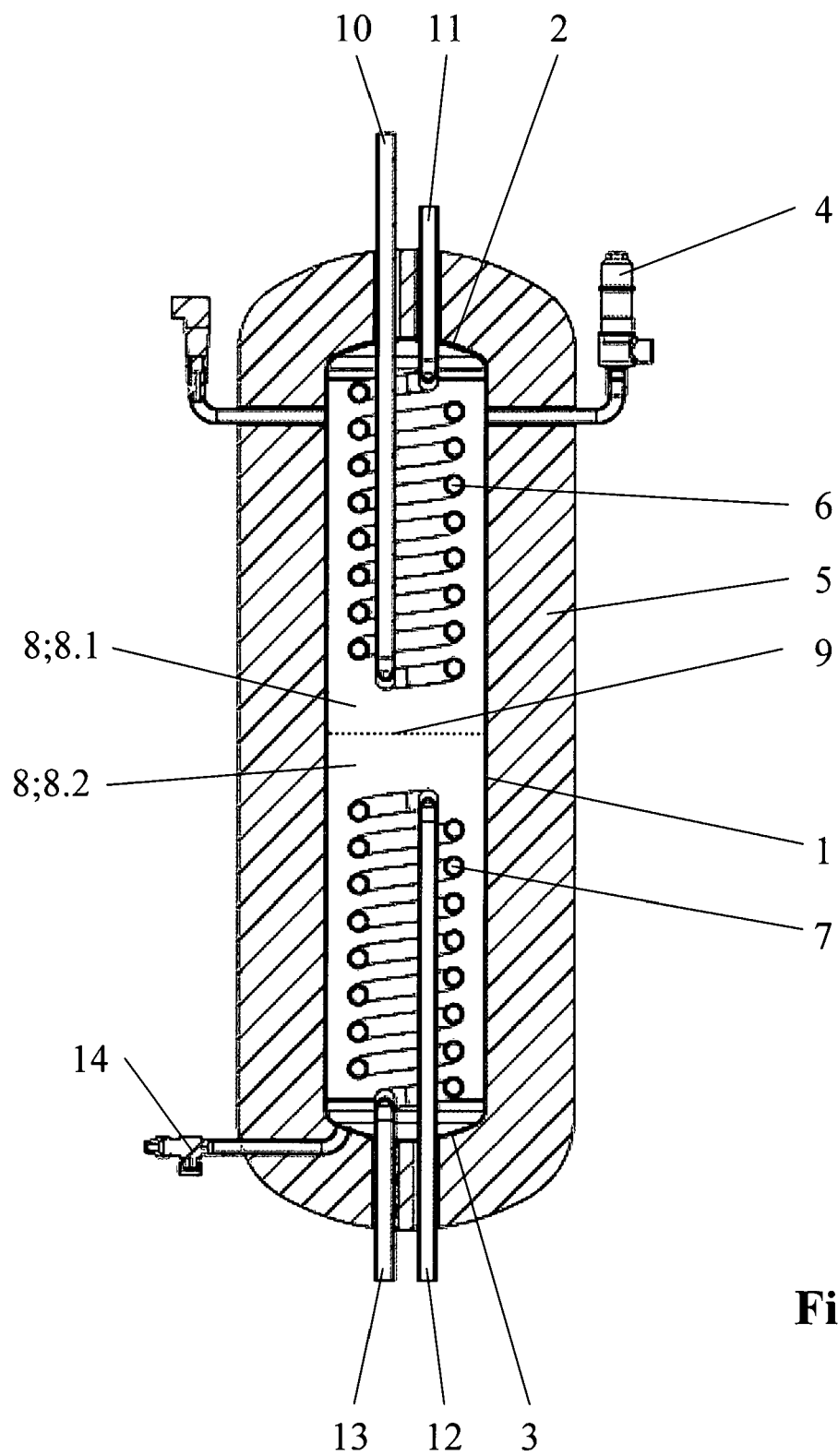
1. Procédé pour la récupération de froid lors de la regazéification de liquides cryogéniques, à savoir de gaz naturel liquéfié (LNG), d'azote liquéfié (LN2) ou d'oxygène liquéfié (LO2), **caractérisé en ce que** le froid du liquide cryogénique, à l'intérieur d'un échangeur de chaleur qui est conçu pour des puissances frigorifiques situées dans une gamme en dessous de 100 kW, est d'abord transmis à un fluide porteur intermédiaire (8) et, ultérieurement, de ce dernier à un frigoporteur liquide, ledit frigoporteur ne présentant aucun changement de phase à un niveau de température décroissant jusqu'à -60°C et restant donc pompable de manière sûre, **et en ce que** la transmission de chaleur s'effectue, en outre, grâce à l'évaporation et à la condensation sans utilisation de pompe en circulation naturelle à l'intérieur de l'échangeur de chaleur, la température du fluide porteur intermédiaire (8), grâce à la conception de la transmission de chaleur et des différences de température qui l'entraînent, étant librement sélectionnable dans une gamme comprise entre -20 °C et -100°C, à savoir par le fait que l'échangeur de chaleur est un contenant (1) fermé hermétiquement et enrobé intégralement par un isolement (5) et ayant un fond torosphérique supérieur et un fond torosphérique inférieur (2; 3) en alignement vertical, qu'un tube en spirale (6) situé dans la zone du fond torosphérique supérieur (2) et au moins un tube en spirale (7) situé dans la zone du fond torosphérique (3) inférieur sont disposés en observant une distance entre les tubes en spirales (6 et 7), que le contenant fermé hermétiquement (1) est rempli d'un fluide porteur intermédiaire (8) étant ainsi encapsulé avec un niveau de remplissage (9) situé entre les tubes en spirales (6 et 7) supérieurs et inférieurs afin de réaliser le transport de chaleur à l'intérieur du contenant (1), les tubes en spirales (7) inférieurs étant, dans chaque régime de fonctionnement, noyés dans du fluide porteur intermédiaire liquide en état d'ébullition (8.2), tandis que les tubes en spirales supérieures (6) sont entourés de vapeur saturée (8.1), vapeur qui, en service, condense au moment du dégagement de chaleur aux tubes en spirales (6), que les tubes en spirales (6 et/ou 7) sont présents en dispositions simples ou, respectivement, multiples, que le débit entrant (10) et le débit sortant (11) du liquide cryogénique (LNG) par le tube en spirale (6), ou bien, en cas de dispositions multiples, par les tubes en spirales (6) et par le tuyau collecteur (16) correspondant, permettent un transport de chaleur du fluide porteur intermédiaire (8.1) condensant vers le liquide cryogénique (LNG) à être regazéifié, et que le transport de chaleur du frigoporteur à être réfrigéré vers le fluide porteur intermédiaire (8.2) liquide est réalisé au moyen du débit entrant (12) et du débit sortant (13) du frigoporteur par le tube en spirale (7), ou bien, en cas de dispositions multiples, par les tubes en spirales (7) et par le tuyau collecteur (16) correspondant.
2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce qu'un** frigoporteur liquide est utilisé dont la température de solidification est en dessous de -60°C.
3. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que**, le fluide porteur intermédiaire (8) utilisé est du propane (8).
4. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que**, la température du fluide porteur intermédiaire (8) évaporant et condensant en circulation naturelle peut être fixée essentiellement par la conception de l'appareillage ou, respectivement, par la conception constructive de la transmission de chaleur, c'est-à-dire des courants et des surfaces de transfert de chaleur des tubes en spirales (6 et 7) de manière à ce que l'équilibre thermique, qui accompagne l'arrêt de l'échangeur de chaleur par l'interruption du débit massique du frigoporteur et du LNG, n'entraîne jamais la solidification du frigoporteur.
5. Échangeur de chaleur pour la récupération de froid lors de la regazéification de liquides cryogéniques, à savoir de gaz naturel liquéfié (LNG), d'azote liquéfié (LN2) ou d'oxygène liquéfié (LO2), **caractérisé en ce que** l'échangeur de chaleur est un contenant (1) fermé hermétiquement et enrobé intégralement par un isolement (5) et ayant un fond torosphérique supérieur et un fond torosphérique inférieur (2; 3) en alignement vertical, **en ce qu'un** tube en spirale (6) dans la zone du fond torosphérique supérieur (2) et au moins un tube en spirale (7) dans la zone du fond torosphérique (3) inférieur sont disposés en observant une distance entre les tubes en spirale (6 et 7), **en ce que** le contenant fermé hermétiquement (1) est rempli d'un fluide porteur intermédiaire (8) étant ainsi encapsulé avec un niveau de remplissage (9) situé entre les tubes en spirales (6 et 7) supérieurs et inférieurs afin de réaliser le transport de chaleur à l'intérieur du contenant (1), les tubes à spirales (7) inférieurs étant, dans chaque régime de fonctionnement, noyés dans du fluide porteur intermédiaire liquide en état d'ébullition (8.2), tandis que les tubes à spirales supérieurs (6) sont entourés de vapeur saturée (8.1), vapeur qui, en service, condense au moment du dégagement de chaleur aux tubes à spirales (6), et les tubes en spirales (6 et/ou 7) étant présents en dispositions simples ou, respectivement, multiples, **en ce que** le débit entrant (10) et le débit sortant (11)

du liquide cryogénique (LNG) par le tube en spirale (6), ou bien, en cas de dispositions multiples, par les tubes en spirales (6) et par le tuyau collecteur (16) correspondant, permettent un transport de chaleur du fluide porteur intermédiaire (8.1) condensant vers le liquide cryogénique (LNG) à être regazéifié, **et en ce que** le transport de chaleur du frigoporteur à être réfrigéré vers le fluide porteur intermédiaire (8.2) liquide est réalisé au moyen du débit entrant (12) et du débit sortant (13) du frigoporteur par le tube en spirale (7), ou bien, en cas de dispositions multiples, par les tubes en spirales (7) et par le tuyau collecteur (16) correspondant.

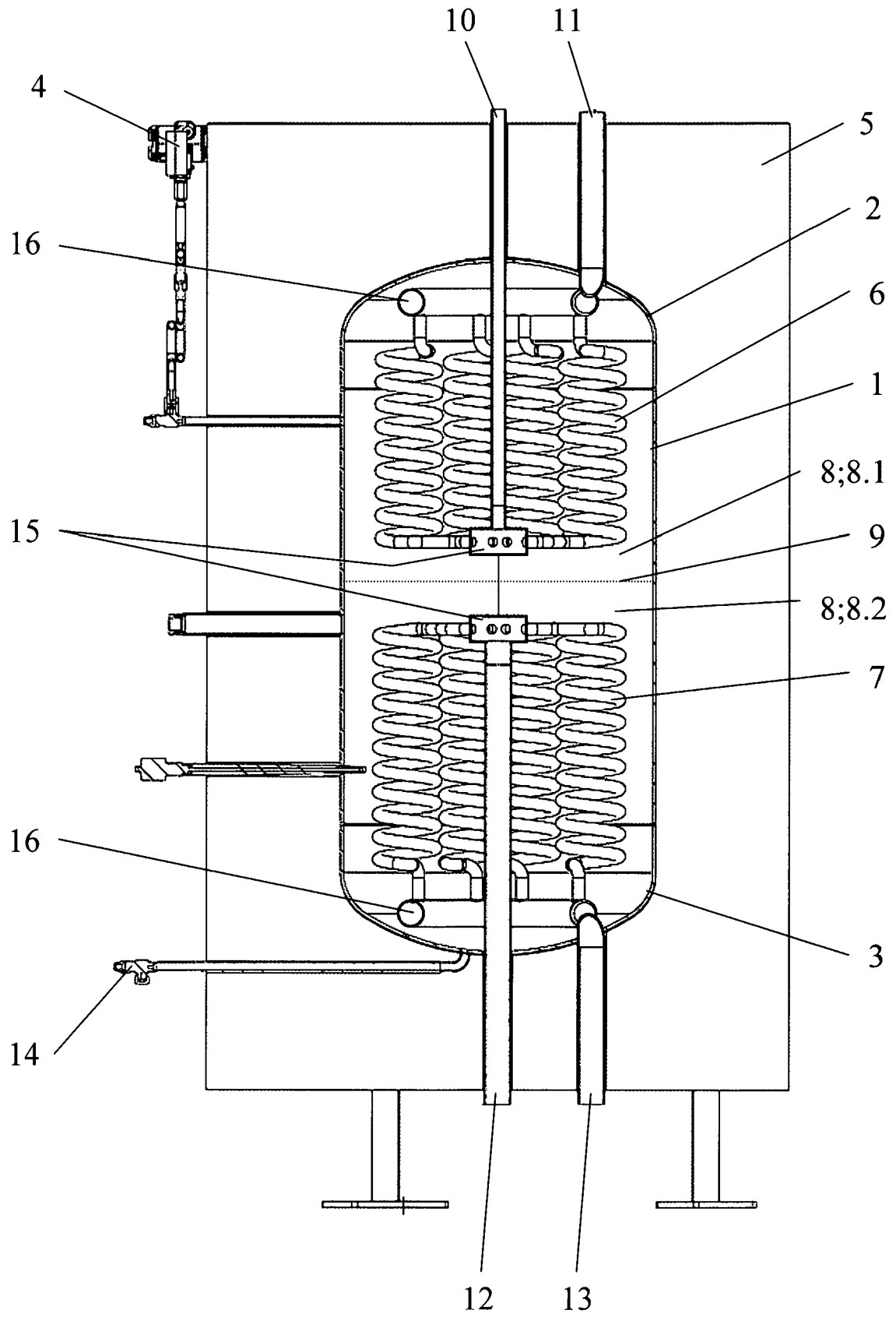
6. Échangeur de chaleur selon la revendication 5, **caractérisé en ce que**, entre les tubes en spirales (6 et 7), une distance calculable est réalisée au moins égale au diamètre des tubes en spirales (6 ou, respectivement, 7), distance qui assure que, dans chaque régime de fonctionnement, les tubes en spirales supérieurs (6) sont entourés de vapeur saturée (8.1) et que les tubes en spirales inférieurs (7) sont complètement noyés dans du fluide porteur intermédiaire liquide en état d'ébullition (8.2). 20
7. Échangeur de chaleur selon la revendication 5, **caractérisé en ce que** les tubes en spirales (6 et 7) font saillie chacun librement à l'intérieur du contenant et chacun avec fixation unilatérale au contenant (1). 30
8. Échangeur de chaleur selon la revendication 5, **caractérisé en ce que**, le contenant (1) et les tubes en spirales (6 et 7) sont fabriqués en acier inoxydable. 35
9. Échangeur de chaleur selon la revendication 5, **caractérisé en ce que**, à l'intérieur de chacun des tubes en spirales (6 et 7), un courant circulaire est réalisé. 40
10. Échangeur de chaleur selon la revendication 5, **caractérisé en ce que**, des turbulateurs sont utilisés.
11. Échangeur de chaleur selon la revendication 5, **caractérisé en ce que**, en cas d'aménagements comportant plusieurs tubes en spirales (6), le débit entrant (10) du LNG est réalisé directement avec interposition d'un répartiteur (15) et que le débit sortant (11) du LNG regazéifié est réalisé par un tuyau collecteur (16) situé dans la partie supérieure du contenant (1). 50
12. Échangeur de chaleur selon la revendication 5, **caractérisé en ce que**, en cas d'aménagements comportant plusieurs tubes en spirales (7), le débit entrant (12) du frigoporteur est réalisé directement avec interposition d'un répartiteur (15) et que le débit 55

sortant (13) du frigoporteur est réalisé par un tuyau collecteur (16) situé dans la partie inférieure du contenant (1).

- 5 13. Échangeur de chaleur selon la revendication 5, **caractérisé en ce que**, en cas d'aménagements comportant plusieurs tubes en spirales (6 ou, respectivement, 7), les tuyaux collecteurs (16) peuvent être agencés aussi bien à l'intérieur que, alternativement, à l'extérieur du contenant (1).
- 10 14. Échangeur de chaleur selon la revendication 5, **caractérisé en ce que**, les tuyaux collecteurs (16) peuvent être utilisés pour la fixation unilatérale des tubes en spirales (6 ou, respectivement, 7).
- 15



Figur 1



Figur 2

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- DE 102011081673 [0003]
- US 6089022 A [0003]
- US 6367265 B [0003]
- US 6367429 B [0003]
- WO 2004031644 A [0003]