RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) N° de publication : **2 477 276**
(A n'utiliser que pour les commandes de reproduction).

A1

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

(21) **N° 80 04509**

(54) **Procédé et installation de réchauffement d'un fluide froid.**

(51) Classification internationale (Int. Cl.³). **F 28 C 3/02; B 67 D 5/62; F 17 C 7/04, 9/02.**

(22) Date de dépôt ..... 29 février 1980.
(33) (32) (31) Priorité revendiquée :

(41) Date de la mise à la disposition du
public de la demande ..... B.O.P.I. — « Listes » n° 36 du 4-9-1981.

(71) Déposant : L'AIR LIQUIDE, SOCIETE ANONYME POUR L'ETUDE ET L'EXPLOITATION DES PROCEDES GEORGES CLAUDE, résidant en France.

(72) Invention de : Pierre Gauthier.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : Société L'Air Liquide, service brevets,
75, quai d'Orsay, 75321 Paris Cedex 07.

La présente invention concerne un procédé et une installation de réchauffement d'un fluide froid par échange thermique avec un liquide chaud, dont la température de congélation est supérieure à la température du fluide froid avant réchauffement. Dans les dispositions connues, on conforme le fluide froid à réchauffer en au moins un courant à extension principale verticale, généralement avec une section transversale circulaire, et on fait échanger thermiquement ledit courant avec ledit liquide chaud s'écoulant à ruissellement extérieurement et coextensivement au dit courant. Généralement, la circulation du fluide à réchauffer est exclusivement ascendante, c'est-à-dire que le transfert thermique est effectué purement à contre-courant entre le fluide et le liquide.

Cette façon de faire présente certains inconvénients dont le principal est que l'eau de ruissellement devient de plus en plus froide, au niveau du fluide le plus froid ce qui présente, notamment, des risques de prise en glace en particulier lorsque l'eau entrante est déjà à température peu élevée, par exemple 4° C.

La présente invention vise un procédé où l'inconvénient mentionné ci-dessus est éliminé et ce procédé se caractérise en ce que chaque courant à extension verticale comprend au moins une section descendante et une section ascendante, les deux sections étant soumises à l'échange thermique avec le liquide de réchauffement ruisselant jusqu'à l'extrémité inférieure des dites sections de courant du fluide à réchauffer. Ainsi le fluide à réchauffer entre au sommet d'une section et se réchauffe d'abord à co-courant avec le liquide de ruissellement. Le fluide à réchauffer aborde donc la section suivante à contre-courant à l'état déjà partiellement réchauffé. Grâce à cette disposition, on a la possibilité d'accroître le flux thermique au niveau de l'entrée du fluide à réchauffer, d'assurer un refroidissement plus poussé de l'eau en diminuant ainsi le débit pompé, et de réduire au strict minimum le nombre de sections d'échange thermique.

La présente invention a également pour objet une installation de réchauffement d'un fluide froid par échange thermique avec un liquide chaud, du genre comprenant des passages d'échange thermique à extension substantiellement verticale avec des moyens de distribution d'un liquide de ruissellement à l'extrémité haute des passages et cette installation se caractérise en ce que lesdits passages comprennent au moins un module avec au moins une première section de passage, ou section de passage dit amont, reliée par raccord à son extrémité inférieure à l'extrémité inférieure d'au moins une seconde section de passage, ou section de passage aval, et des moyens d'alimentation en fluide à réchauffer à l'extrémité supérieure de chaque section de passage amont.

Les caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront de la description qui suit en référence aux dessins annexés dans lesquels:

- la figure 1 est une vue partielle en coupe verticale d'une installation de réchauffement de liquide cryogénique selon l'invention ;
- la figure 2 est un détail, à échelle agrandie, d'une partie de la figure 1 ;
- la figure 3 est une vue, à échelle agrandie, en coupe selon la ligne III-III de la figure 2 ;
- les figures 4 - 5 - 6 - 7 - 8 et 9 sont des variantes de réalisation d'une installation selon l'invention.

En se référant aux figures 1 à 3, on voit qu'une installation comprend une pluralité de tubes de réchauffement 1 formant passages d'échange thermique, réalisés en aluminium, chacun constitué d'une section de tube "amont" 2 et d'une section de tube "aval" 3, raccordés par un coude inférieur 4. L'élément de tube amont 2 est branché par une canalisation 5 à une alimentation en fluide à réchauffer par l'intermédiaire d'une boîte de raccordement 10, tandis que l'élément de tube aval 3 est branché directement à une conduite 6 de soutirage de fluide réchauffé : les sections de tube 2 et 3 sont suspendues de façon à être disposées substantiellement verticalement, et tout autour et le long de ces tubes, qui présentent des

ailettes extérieures 7, ruissellent des courants de liquide de réchauffement sous forme de nappes 8 et 9 qui sont préalablement formées par des dispositifs de répartition supérieurs 11.

La boîte de raccordement 10 comprend ici (voir figure 2) soudés en prolongement de la section de tube amont 2, un tube-enveloppe 12 ayant une épaisseur de paroi constante dans une section basse 12' et croissante radialement vers le haut dans une partie médiane 12", avec un diamètre intérieur constant ; à l'extrémité supérieure, ce tube-enveloppe 12 se prolonge en 13 jusqu'à un embout de raccordement 14 de la canalisation 5 pour le fluide froid. Toutes ces pièces sont réalisées en aluminium pour être convenablement soudées entre-elles et avec le tube d'échange thermique 1. L'embout 14 présente un alésage interne de faible diamètre 16 dans lequel est soudé un élément de conduit 17 aboutissant largement à l'intérieur de la section tubulaire amont 2. Entre l'élément de conduit 17 d'une part et d'autre part le tube-enveloppe 13 - 12 et la partie supérieure de la section de tube 2 est placé un produit d'isolation thermique 18. L'ensemble qui vient d'être décrit est logé à l'intérieur d'une cheminée tubulaire de répartition 20 présentant une couronne de perforations 21. Cette cheminée 20 est fixée sur le dispositif de répartition 11 entourant à distance l'élément de tube 2 et les perforations 21 se situent au niveau supérieur de la partie 12" à épaisseur surdimensionnée. En pratique, et comme on le note aux dessins, le liquide de ruissellement, qui est destiné à s'écouler en nappes telles que 8 et 9 le long des sections de tube amont 2 et aval 3, provient d'une réserve générale de liquide 25, qui elle-même est alimentée par un puits 25'.

En fonctionnement, le liquide de ruissellement est transféré dans une partie inférieure de la cheminée de répartition 20 sous forme d'une pluralité de veines liquides 26 provenant de la réserve 25 et formées à partir des perforations 21. Grâce à la disposition qui vient d'être décrite, le fluide très froid qui circule à l'intérieur de la canalisation 5 et du tube 17 pour aboutir à la section de tube amont 2 est radialement isolé de l'extérieur par le corps isolant 18. En outre, on

note que le flux frigorifique longitudinal important, qui prend essentiellement naissance, côté amont, au niveau de l'embout 14 et qui se propage vers l'aval le long du tube-enveloppe 13 - 12 vers la section de tube 2, est dérivé radialement vers l'extérieur à l'endroit du tube-enveloppe 12 à épaisseur de paroi progressivement croissante vers l'amont. En effet, dans la partie médiane de forte épaisseur 12" du tube-enveloppe 12, le flux frigorifique longitudinal se transfère au maximum vers l'eau qui se présente sous forme de rigoles 26 en écoulement gravifique libre et rapide. Cet effet maximum de transfert thermique radialement vers l'extérieur résulte d'une part de la disposition, au niveau des rigoles 26, d'une surépaisseur importante de paroi de la partie 12" du tube-enveloppe 12, qui offre une conductance thermique accrue dans le sens radial, d'autre part d'un écoulement rapide de l'eau en chute libre, ce qui porte à sa valeur maximale le coefficient d'échange thermique. Cette disposition permet donc une dérivation substantielle vers les rigoles liquides 26 d'une part importante du flux frigorifique à propagation longitudinale, ce qui allège d'autant le flux frigorifique résiduel poursuivant sa propagation longitudinale dans la partie à paroi plus faible 12' et surtout vers la tête 2' de la section de tube 2 qui baigne dans une réserve individuelle d'eau de répartition 29 de nature substantiellement stagnante, donc à faible coefficient d'échange thermique avec la paroi de l'élément de tube 2. Sans la disposition décrite plus haut, on assisterait à l'arrivée d'un flux frigorifique important à propagation longitudinale au niveau de la tête 2' de la section de tube 2, qui est enveloppée d'une réserve d'eau stagnante 29, ce qui provoquerait, à coup sûr, des phénomènes de solidification superficielle préjudiciable de cette eau au niveau de la tête 2' puisque cette solidification, en se propageant radialement, pourrait atteindre toute la réserve d'eau 29 et rendre ainsi inopérant l'échange du tube 2 - 3. Au contraire, grâce à cette disposition décrite, on peut contrôler de façon très précise le flux thermique qui parvient au niveau de la tête 2' de la section de tube 2, puisque ce flux thermique est la somme d'un

flux thermique résiduel à propagation longitudinale et d'un flux thermique à propagation radiale qui est lui-même faible grâce à l'interposition du produit isolant 18. D'ailleurs, dans certains cas, on accroît légèrement le coefficient d'échange thermique entre la tête 2' de la section de tube 2 avec la réserve d'eau 29 en conférant à celle-ci un certain mouvement de convection grâce à la présence de perforations de dégagement 21' pratiquées en position basse dans la cheminée distributrice 20, favorisant ainsi une certaine admission complémentaire d'eau en provenance directe de la réserve principale 25.

Ainsi qu'il a été expliqué précédemment, l'eau de ruissellement se forme en une nappe de ruissellement sur la paroi externe ailetée de l'élément de tube amont 2 et se refroidit progressivement jusqu'à l'extrémité inférieure de la section de tube amont 2, où l'eau de ruissellement est ensuite évacuée en 30 avec d'ailleurs celle qui provient du ruissellement à contre-courant sur la section de tube aval 3. On note que sur cette section de tube aval 3 les risques de congélation du liquide de ruissellement sont nettement amoindris, car d'une part le fluide en cours de réchauffement circulant dans le tube 1 a vu sa température augmentée jusqu'à être voisine de celle du liquide de ruissellement en sorte que l'évacuation du fluide réchauffé hors de la section de tube aval 3 peut s'effectuer sans mise en oeuvre d'un boîtier de raccordement tel que décrit en référence à la figure 2, par une simple canalisation de soutirage 6, avec toutefois, bien entendu, le dispositif de répartition 11 permettant la formation d'une nappe de ruissellement uniforme 9.

Au lieu d'utiliser un tube de réchauffement dont l'extrémité d'admission amont reçoit le fluide brut à réchauffer et dont l'extrémité aval délivre le fluide à la température désirée de réchauffement (ou plus précisément une pluralité de tels tubes agencés en parallèle et branchés directement sur des collecteurs d'admission 30 et de soutirage 31), il est possible d'agencer les éléments de tube amont et les éléments de tube aval en un certain nombre de combinaisons.

En se référant à la figure 4, on voit qu'une pluralité

d'éléments de tube amont 42a, 42b, ... 42n sont tous branchés entre un collecteur supérieur de distribution 50 et un collecteur de raccordement inférieur 51 alimentant une autre pluralité 43a, 43b ... 43n d'éléments de tube aval formant ainsi un premier module multi-tubulaire dont l'extrémité supérieure est raccordée par un collecteur 52 à un second module multi-tubulaire constitué d'une autre pluralité d'éléments de tube amont 44a, 44b ... 44q, le module final ayant une pluralité d'éléments de tube amont 45a, 45b ... 45r et une pluralité d'éléments de tube aval 46a, 46b ... 46s, délivrant le liquide réchauffé dans un collecteur final 52".

Selon la figure 5, des modules monotubulaires tels que décrits en référence à la figure 1, constitué chacun d'un élément de tube amont (54a, 54b, etc ...) sont alimentés à leur extrémité supérieure par un collecteur d'alimentation commun 55, et sont raccordés par des raccords individuels 58a, 58b ... à un élément de tube aval (56a, 56b, etc ...), eux-mêmes raccordés à leur extrémité supérieure à un collecteur de soutirage commun 57.

Selon la figure 6, plusieurs lignes 61 et 62, telles que celles décrites à la figure 4, c'est-à-dire incorporant chacune plusieurs modules multi-tubulaires en série 63, 64 ... 63', 64' ... sont branchées en paralèle entre un collecteur principal d'admission 68 et un collecteur principal de soutirage 69.

Selon la figure 7, plusieurs lignes 70,71, constituées chacune de plusieurs modules multi-tubulaires 72, 73, ..., 72', 73' ... sont non seulement branchées entre un collecteur principal d'alimentation 74 et un collecteur principal de soutirage 75, mais des collecteurs intermédiaires d'égalisation 77 relient les modules homologues de plusieurs lignes en parallèle.

Selon la figure 8, un faisceau d'éléments de tube est formé d'un premier jeu de lignes 81a, 81b, 81c (par exemple au nombre de trois) constitués d'un module multi-tubulaires (ou plusieurs modules multi-tubulaires en série) entre un collecteur d'alimentation 83 et un collecteur intermédiaire 84 qui alimente un

second jeu de lignes 82a et 82b (par exemple deux) entre ce collecteur intermédiaire 84 et le collecteur final de soutirage 85.

Selon la figure 9, un premier jeu d'une pluralité de lignes 91a, 91b, 91c (par exemple trois) alimentées par un collecteur d'alimentation 93 et soutirées par un collecteur de soutirage 95a est raccordé par l'intermédiaire d'une conduite 96 à vanne de détente 97 à un second jeu d'une autre pluralité de lignes 92a, 92b branchées entre un collecteur d'alimentation 95b et un collecteur de soutirage 94.

L'invention s'applique notamment au réchauffement et à la revaporisation de gaz naturel liquéfié.

REVENDICATIONS

1 - Procédé de réchauffement d'un fluide froid par échange thermique avec un liquide chaud, dont la température de congélation est supérieure à la température du fluide froid avant réchauffement, selon lequel on conforme le fluide froid à réchauffer en au moins un courant à extension principale verticale, ledit courant ayant une première dimension transversale et horizontale, qui est faible au regard de l'extension longitudinale dudit courant ainsi conformé, et on fait échanger thermiquement ledit courant avec ledit liquide chaud s'écoulant à ruissellement gravifique extérieurement et coextensivement audit courant, caractérisé en ce que chaque courant à extension verticale comprend au moins une section descendante et une section ascendante, les deux sections étant soumises audit échange thermique avec le liquide de réchauffement ruisselant jusqu'à l'extrémité inférieure des dites sections de courant de fluide à réchauffer.

2 - Procédé de réchauffement d'un fluide froid selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'une deuxième dimension transversale et horizontale du courant de fluide à réchauffer, qui est perpendiculaire à ladite première dimension est également faible au regard de l'extension longitudinale dudit courant, en sorte que chaque courant de fluide à réchauffer se présente sous forme d'une veine.

3 - Procédé de réchauffement d'un fluide froid selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que chaque courant circule dans un passage d'échange thermiquement délimité latéralement par une paroi conductrice, avantageusement pourvue d'ailettes extérieures, et en ce que le liquide chaud de ruisel-

lement s'écoule le long et sur toute la face externe de ladite paroi conductrice.

4 - Procédé de réchauffement d'un fluide froid selon la revendication 3, du genre où l'on répartit le liquide de ruissellement autour d'un passage d'échange thermique à partir d'une réserve liquide individuellement affectée à chaque passage autour de la partie basse d'un tube-enveloppe prolongeant vers le haut ledit passage, et à l'intérieur duquel s'étend avec interposition d'un isolant, un élément de conduit d'alimentation en fluide à réchauffer, ledit élément de conduit et ledit tube-enveloppe étant raccordés à un embout de canalisation, ladite réserve individuelle de liquide étant elle-même alimentée par du liquide issu d'une réserve liquide générale et ruisselant le long d'une partie dudit tube-enveloppe situé au-dessus de ladite réserve individuelle, caractérisé en ce qu'on surdimentionne l'épaisseur de ladite partie dudit tube-enveloppe de ruissellement du liquide, le surdimentionnement d'épaisseur étant de préférence d'autant plus marqué qu'on s'élève au-dessus de ladite réserve liquide individuelle.

5 - Installation de réchauffement d'un fluide froid par échange thermique avec un liquide chaud, du genre comprenant des passages d'échange thermique à extension substantiellement verticale, avec des moyens de distribution d'un liquide de ruissellement à l'extrémité haute des passages, caractérisée en ce que les dits passages comprennent au moins un module avec au moins une première section de passage, ou section de passage dite amont, reliée par raccord à son extrémité inférieure à l'extrémité inférieure d'au moins une seconde section de passage, ou section

de passage dite aval, et des moyens d'alimentation en fluide froid à l'extrémité supérieure de chaque section de passage amont.

6 - Installation selon la revendication 2, caractérisée en ce qu'un module comprend une première pluralité de sections de passages dites amont raccordés par leurs extrémités inférieures par un collecteur "bas" aux extrémités inférieures d'une seconde pluralité de sections de passages dites aval.

7 - Installation selon la revendication 2 ou 3, caractérisée en ce que plusieurs modules sont raccordés en série par des collecteurs hauts pour former une ligne.

8 - Installation selon la revendication 6, caractérisée en ce que plusieurs modules sont branchés en parallèle entre un collecteur amont d'alimentation et un collecteur aval de soutirage.

9 - Installation selon la revendication 7, caractérisée en ce que plusieurs lignes sont agencées et branchées à une extrémité des dites lignes à un collecteur d'admission et à l'autre extrémité des dites lignes à un collecteur de soutirage.

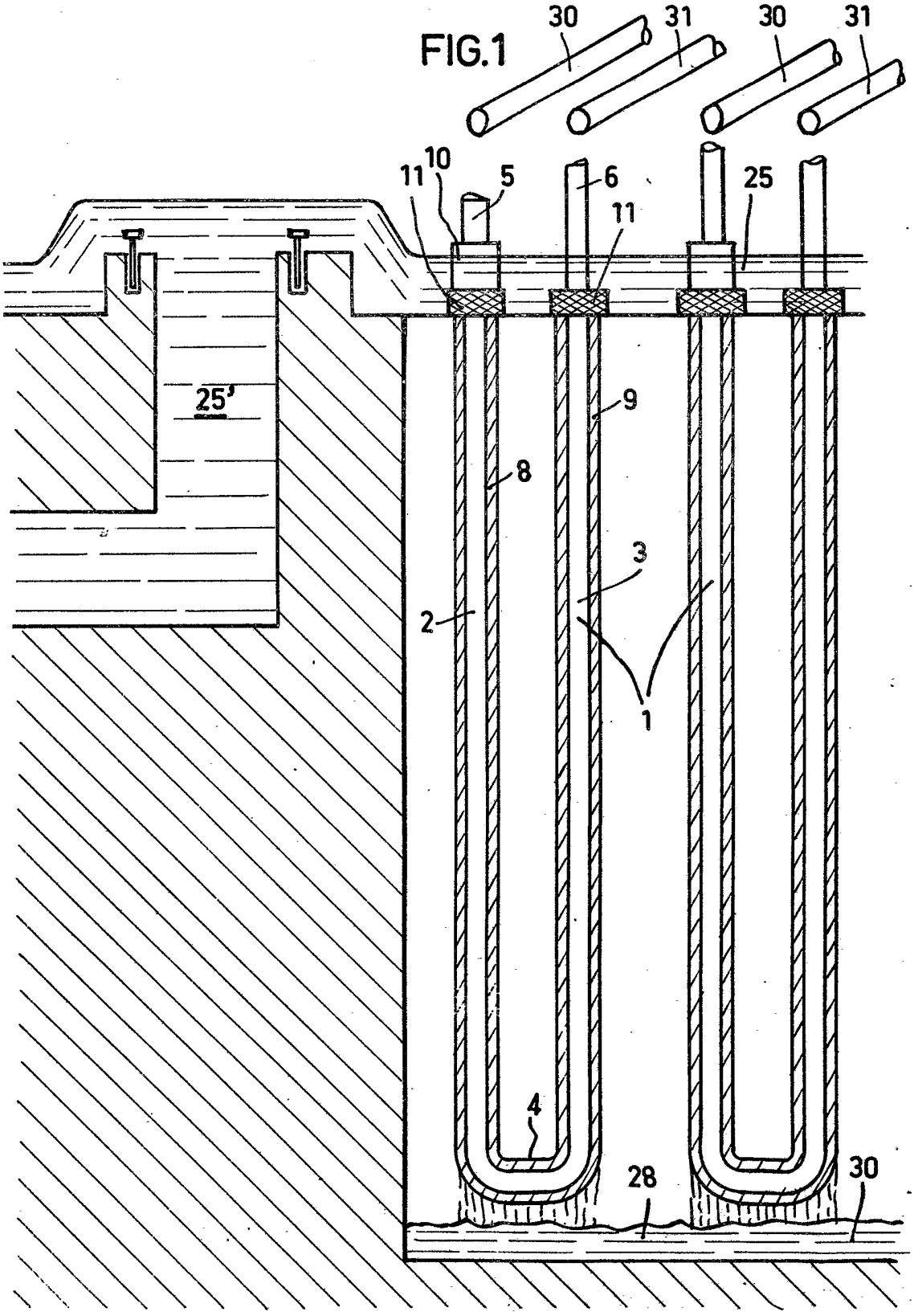
10 - Installation selon la revendication 9, caractérisée en ce qu'une ligne est formée de plusieurs modules, certains modules homologues de plusieurs lignes en parallèle étant raccordés à des collecteurs intermédiaires.

11 - Installation selon la revendication 9, caractérisée en ce que plusieurs lignes sont agencées, certaines en parallèle , certaines en série avec des collecteurs intermédiaires.

12 - Installation selon la revendication 11, caractérisée en ce que les collecteurs intermédiaires incorporent des moyens de détente.

1/6

FIG.1



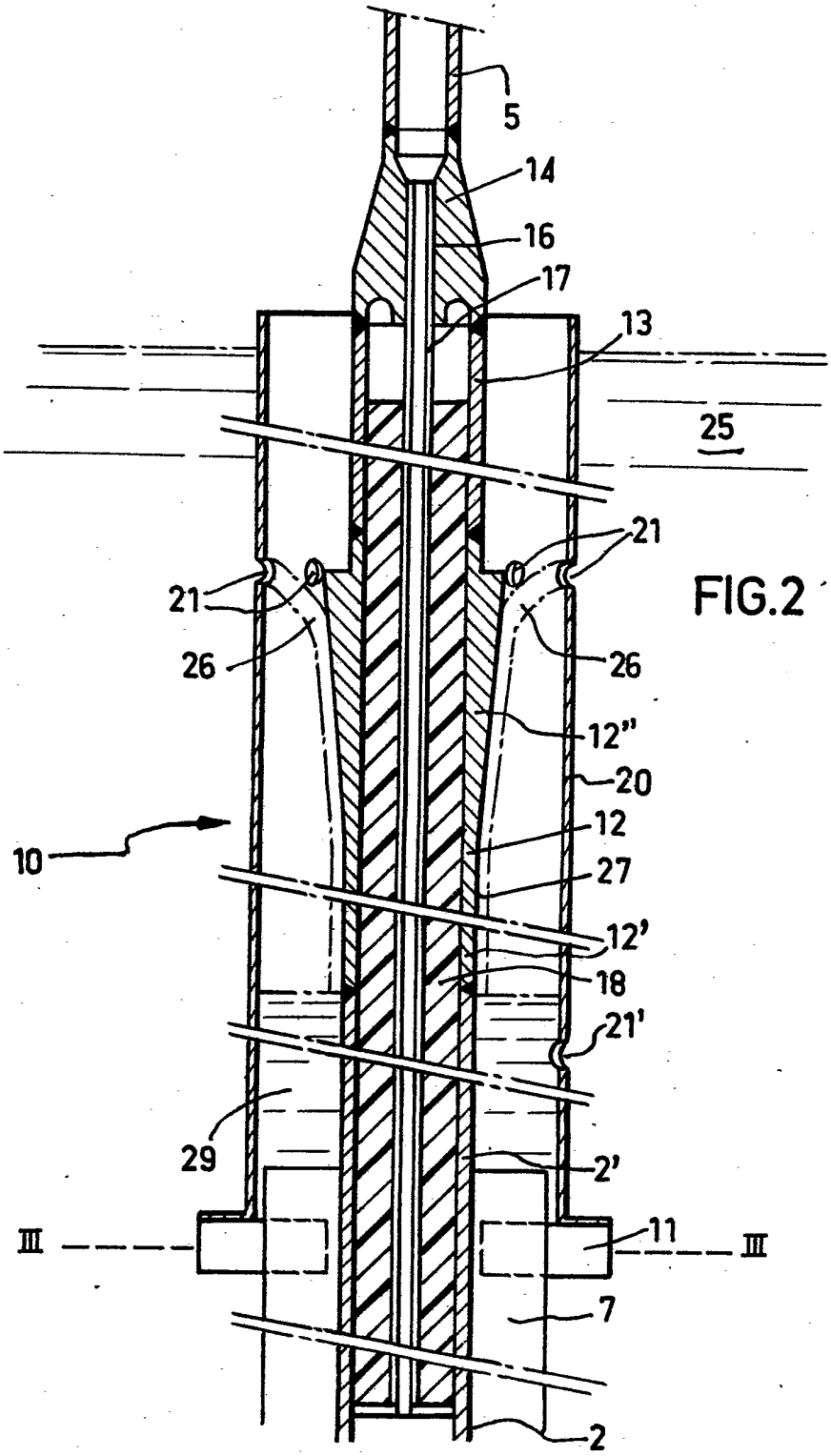


FIG.2

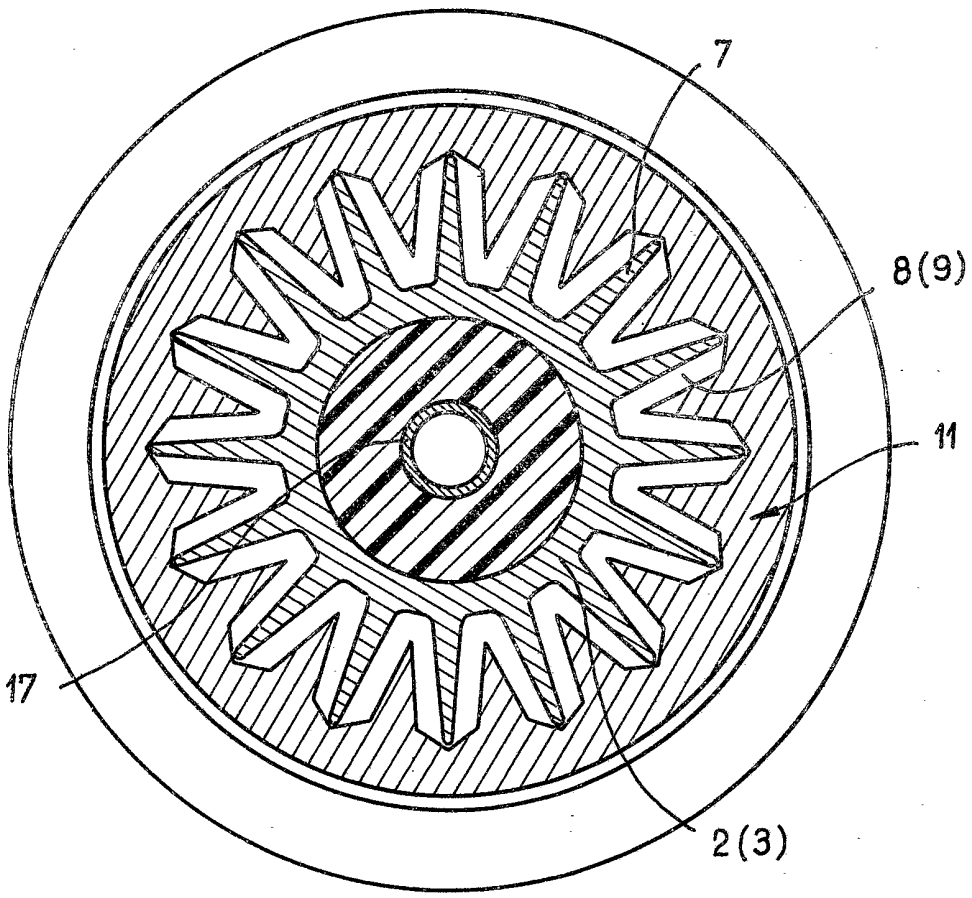


FIG_3

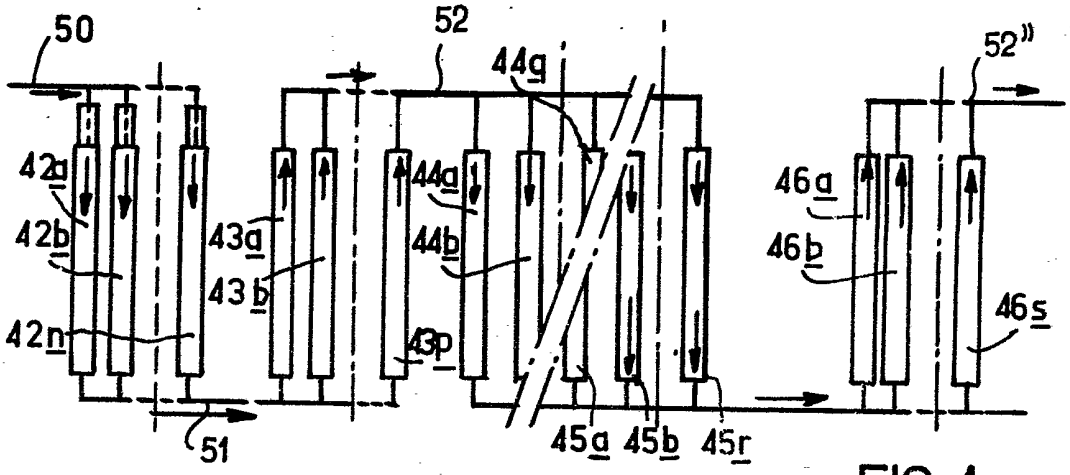


FIG.4

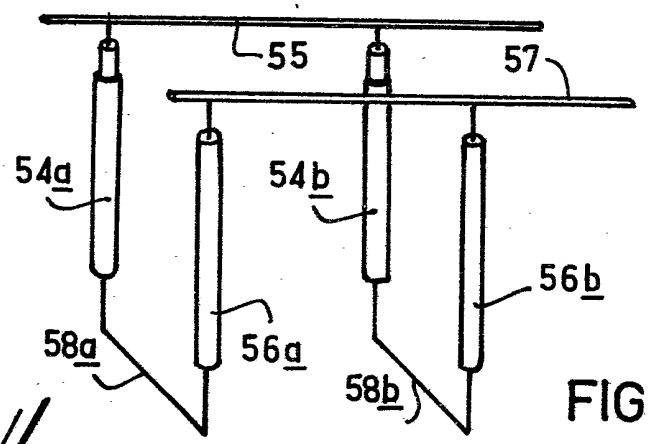


FIG.5

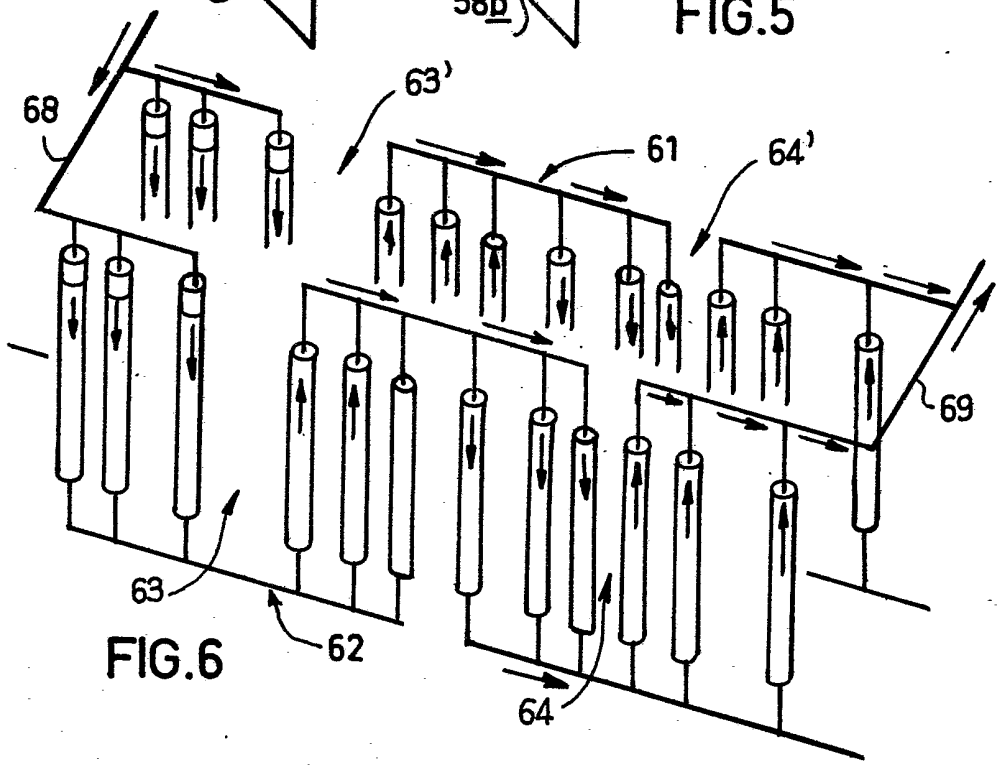


FIG.6

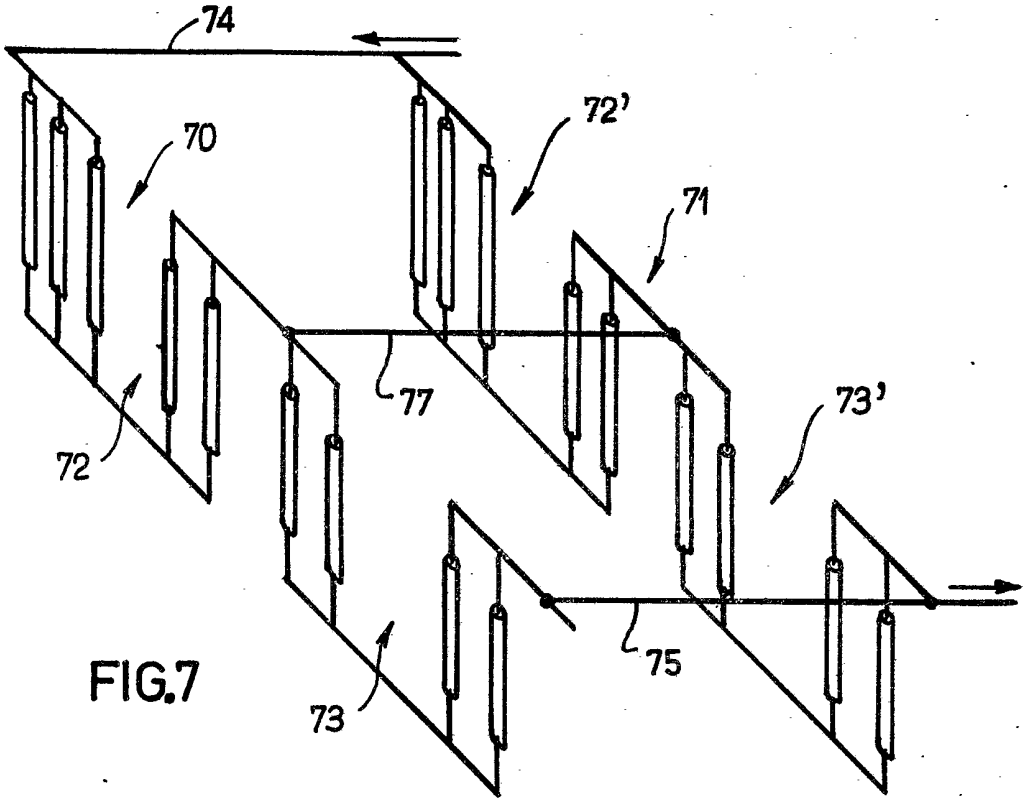


FIG.7

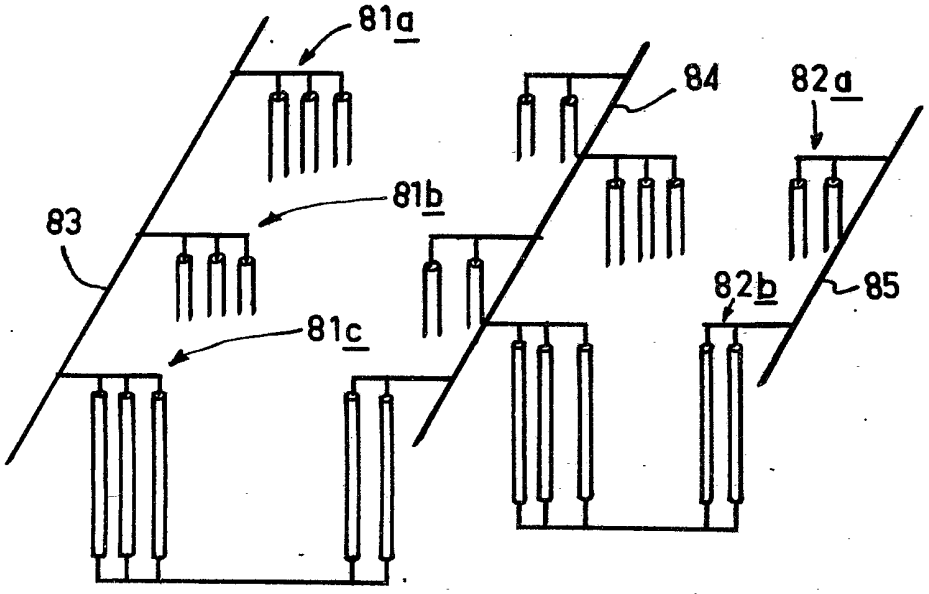


FIG.8

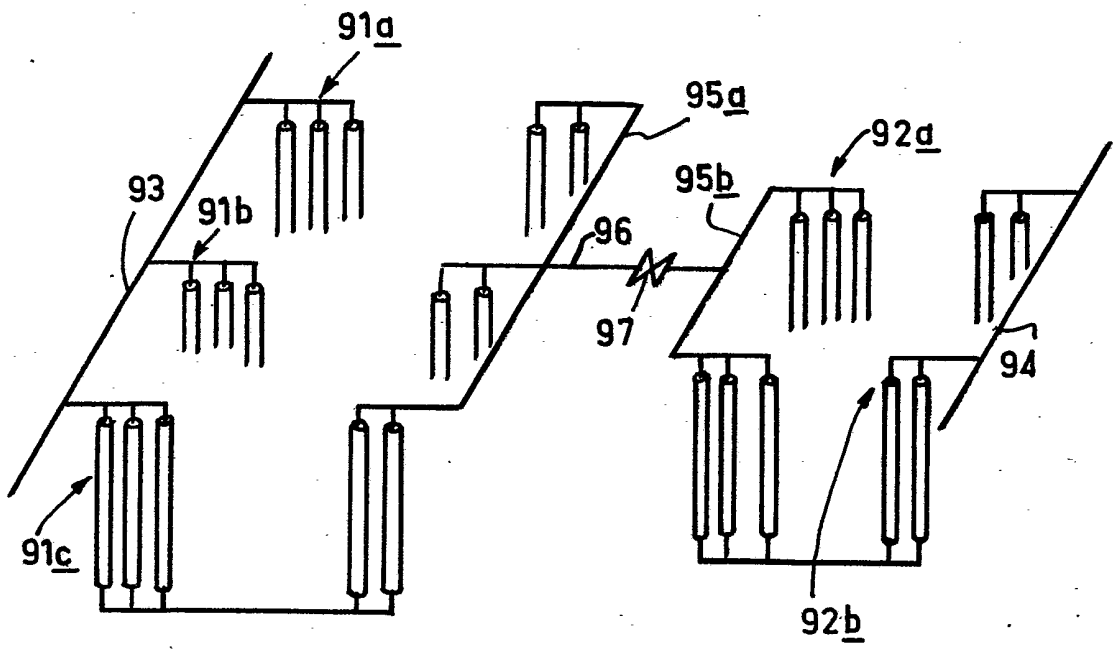


FIG.9