



(10) **DE 10 2009 018 248 A1** 2010.10.28

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2009 018 248.9**

(22) Anmeldetag: **21.04.2009**

(43) Offenlegungstag: **28.10.2010**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **F25J 1/00** (2006.01)

**F25J 3/06** (2006.01)

**F25B 9/10** (2006.01)

(71) Anmelder:  
**Linde Aktiengesellschaft, 80331 München, DE**

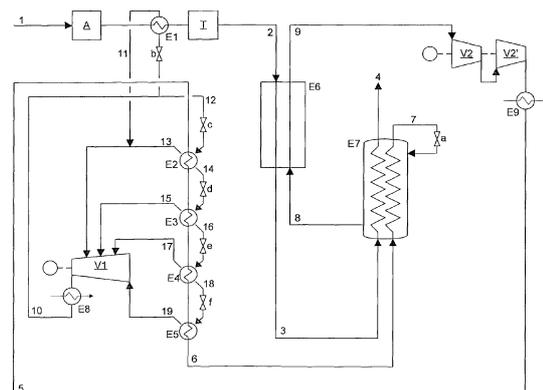
(72) Erfinder:  
**Bauer, Heinz, Dr., 82067 Ebenhausen, DE; Franke,  
Hubert, Dr., 82049 Pullach, DE**

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Verflüssigen einer Kohlenwasserstoff-reichen Fraktion**

(57) Zusammenfassung: Es wird ein Verfahren zum Verflüssigen einer kohlenwasserstoffreichen Fraktion beschrieben.

Erfindungsgemäß erfolgen die Abkühlung (E6) und Verflüssigung (E7) der kohlenwasserstoffreichen Fraktion (1, 2) im indirekten Wärmetausch gegen das Kältemittelgemisch eines Kältemittelgemischkreislaufes (5-9), erfolgt die Abkühlung (E6) der kohlenwasserstoffreichen Fraktion (1, 2) im indirekten Wärmetausch gegen das vollständige verdampfte Kältemittelgemisch des Kältemittelgemischkreislaufes (5-9), wird das verdichtete Kältemittelgemisch des Kältemittelgemischkreislaufes (5-9) mittels eines Reinstoffkältekreislaufes (10-19) vorgekühlt, und werden die Zusammensetzung des Kältemittelgemisches und/oder der Verdichterenddruck des Kältemittelgemischkreislaufes (5-9) so gewählt, dass das Kältemittelgemisch durch den Reinstoffkältekreislauf (10-19) vollständig verflüssigt wird.



**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Verflüssigen einer Kohlenwasserstoff-reichen Fraktion.

**[0002]** Aus der US 3,763,658 ist ein Verfahren zum Verflüssigen einer Kohlenwasserstoff-reichen Fraktion bekannt, das insbesondere bei Erdgasverflüssigungsprozessen Anwendung findet. Hierbei dient ein Kältemittelgemischkreislauf der Verflüssigung und Unterkühlung des Erdgases, während zusätzlich ein Reinstoffkreislauf vorgesehen ist, der sowohl das zu verflüssigende Erdgas vorkühlt als auch das Kältemittelgemisch des Kältemittelgemischkreislaufes vorkühlt und teilverflüssigt. Ein derartiges Verflüssigungsverfahren eignet sich insbesondere für Erdgasverflüssigungsprozesse mit einer Leistung zwischen 1 und 6 Mio. jato LNG.

**[0003]** Das zu verflüssigende Erdgas wird vor der eigentlichen Abkühlung und Verflüssigung im Regelfall einer wässrigen Aminwäsche, der üblicherweise eine Trocknungseinheit nachgeschaltet ist, zugeführt. Insbesondere in warmen Klimazonen kann ein Teilstrom des vorbeschriebenen Reinstoffkreislaufes zur Kondensation von im Erdgas enthaltenen Wasser verwendet werden, wodurch der der Aminwäsche nachgeschaltete Trockner entlastet wird.

**[0004]** Dieser Verflüssigungsprozess erfordert jedoch einen vergleichsweise hohen apparativen Aufwand. So sind je nach Ausführung bis zu neun Reinstoff-Verdampfer vom Kettle-Typ sowie zwei gewickelte Wärmetauscherbündel vorzusehen. Insbesondere bei kleineren Verflüssigungsleistungen – hierunter seien Leistungen von weniger als 3 Mio. jato LNG zu verstehen – weist die vorbeschriebene Prozessführung gegenüber den sog. SMR(Single Mixed Refrigerant)-Verflüssigungsprozessen, die keinen separaten Vorkühlkreislauf aufweisen, Nachteile auf, da der vorbeschriebene Verflüssigungsprozess höhere Investitionskosten bedingt, die auch durch seinen geringeren Energieverbrauch nicht kompensiert werden können.

**[0005]** Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein gattungsgemäßes Verfahren zum Verflüssigen einer Kohlenwasserstoff-reichen Fraktion anzugeben, das die vorbeschriebenen Nachteile vermeidet.

**[0006]** Zur Lösung dieser Aufgabe wird ein gattungsgemäßes Verfahren zum Verflüssigen einer Kohlenwasserstoff-reichen Fraktion vorgeschlagen, bei dem

- a) die Abkühlung und Verflüssigung der Kohlenwasserstoff-reichen Fraktion im indirekten Wärmetausch gegen das Kältemittelgemisch eines Kältemittelgemischkreislaufes erfolgen,
- b) die Abkühlung der Kohlenwasserstoff-reichen Fraktion im indirekten Wärmetausch gegen das

vollständige verdampfte Kältemittelgemisch des Kältemittelgemischkreislaufes erfolgt,

c) das verdichtete Kältemittelgemisch des Kältemittelgemischkreislaufes mittels eines Reinstoffkältekreislaufes vorgekühlt wird, und

d) die Zusammensetzung des Kältemittelgemisches und/oder der Verdichterenddruck des Kältemittelgemischkreislaufes so gewählt wird bzw. werden, dass das Kältemittelgemisch durch den Reinstoffkältekreislauf vollständig verflüssigt wird.

**[0007]** Unter dem Begriff "Reinstoffkältekreislauf" sei ein Kältekreislauf zu verstehen, in dem das Kältemittel in einer Konzentration von wenigstens 95 Vol.-% vorliegt.

**[0008]** Im Gegensatz zu dem vorbeschriebenen Verflüssigungsverfahren erfolgen Abkühlung und Verflüssigung der Kohlenwasserstoff-reichen Fraktion nunmehr ausschließlich im indirekten Wärmetausch gegen das Kältemittelgemisch eines Kältemittelgemischkreislaufes. Der weiterhin vorzusehende Reinstoffkältekreislauf dient erfindungsgemäß ausschließlich dazu, das verdichtete Kältemittelgemisch des Kältemittelgemischkreislaufes vorzukühlen. Hierbei sind die Zusammensetzung des Kältemittelgemisches und/oder der Verdichterenddruck des Kältemittelgemischkreislaufes so zu wählen, dass das Kältemittelgemisch durch den Reinstoffkältekreislauf so weit gekühlt werden kann, dass es vollständig verflüssigt vorliegt.

**[0009]** Als Folge davon kann das Kältemittelgemisch unmittelbar einem Wärmetauscher, der der Verflüssigung und Unterkühlung der Kohlenwasserstoff-reichen Fraktion dient, zugeführt werden, ohne dass diesem Wärmetauscher ein Abscheider vorgeschaltet werden muss.

**[0010]** Bei der erfindungsgemäßen Verfahrensweise kann dennoch der Vorteil einer Vorkühlung mittels eines Reinstoffkältekreislaufes in Bezug auf Energieverbrauch und Eignung zur Entlastung einer ggf. vorzusehenden Trocknungseinheit im Wesentlichen beibehalten werden. Der apparative Aufwand des erfindungsgemäßen Verflüssigungsverfahrens ist jedoch im Vergleich zu dem vorbeschriebenen Verflüssigungsverfahren wesentlich geringer, da die Anzahl der Wärmetauscher deutlich reduziert ist.

**[0011]** Zwar führt die erfindungsgemäße Verfahrensweise zu einer geringen Erhöhung des Energieverbrauches – die Erhöhung beträgt maximal 5% –, jedoch verbessert sich die Gesamtwirtschaftlichkeit des Verflüssigungsprozesses, weswegen die erfindungsgemäße Verfahrensweise insbesondere im Leistungsbereich zwischen 0,5 und 3 Mio. jato LNG wirtschaftlicher als bekannte Verflüssigungsprozesse ist.

**[0012]** Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Verflüssigen einer Kohlenwasserstoff-reichen Fraktion, die Gegenstände der abhängigen Patentansprüche darstellen, sind dadurch gekennzeichnet, dass

- das Kältemittel des Reinstoffkältekreislaufes zu wenigstens 95 Vol.-% aus  $C_3H_8$ ,  $C_3H_6$ ,  $C_2H_6$ ,  $C_2H_4$  oder  $CO_2$  besteht,
- das Kältemittelgemisch des Kältemittelgemischkreislaufes Stickstoff, Methan und wenigstens zwei der Komponenten aus der Gruppe  $C_2H_4$ ,  $C_2H_6$ ,  $C_3H_8$ ,  $C_4H_{10}$ , und  $C_5H_{12}$  enthält, und
- das Kältemittelgemisch der Kältemittelgemischkreislaufes bei der Verflüssigung der Kohlenwasserstoff-reichen Fraktion vollständig verdampft.

**[0013]** Das erfindungsgemäße Verfahren zum Verflüssigen einer Kohlenwasserstoff-reichen Fraktion sowie weitere vorteilhafte Ausgestaltungen desselben, die Gegenstände der abhängigen Patentansprüche darstellen, seien im Folgenden anhand des in der Figur dargestellten Ausführungsbeispiels näher erläutert.

**[0014]** Über Leitung **1** wird die zu verflüssigende Kohlenwasserstoff-reiche Fraktion, bei der es sich nachfolgend um einen Erdgasstrom handeln soll, einer Aminwäsche A zugeführt. Dieser nachgeschaltet ist eine Trocknungseinheit T, der ein Wärmetauscher E1 vorgeschaltet ist. In diesem erfolgt zur Entlastung der Trocknungseinheit T eine Teilkondensation von im Erdgas enthaltenen Wasser.

**[0015]** Der derart vorbehandelte Erdgasstrom wird über Leitung **2** einem Wärmetauscher E6 zugeführt und in diesem gegen das vollständig verdampfte Kältemittelgemisch des Kältemittelgemischkreislaufes, auf den im Folgenden noch eingegangen werden wird, abgekühlt. Der Wärmetauscher E6 ist vorzugsweise als Plattenwärmetauscher ausgeführt.

**[0016]** Über Leitung **3** wird der abgekühlte Erdgasstrom einem Wärmetauscher E7, der vorzugsweise als gewickelter Wärmetauscher ausgebildet ist, zugeführt. In diesem erfolgt die Verflüssigung und Unterkühlung des Erdgasstromes im indirekten Wärmetausch mit dem Kältemittelgemisch des Kältemittelgemischkreislaufes. Über Leitung **4** wird der unterkühlte LNG-Produktstrom abgezogen und einer Zwischenlagerung oder unmittelbar seiner weiteren Verwendung zugeführt.

**[0017]** Das Kältemittelgemisch des Kältemittelgemischkreislaufes wird in einer ein- oder mehrstufigen Verdichtereinheit auf den gewünschten Verdichtendruck verdichtet; in der Figur dargestellt sind zwei Verdichterstufen V2 und V2', wobei zwischen den Verdichterstufen vorzugsweise ein in der Figur nicht dargestellter Zwischenkühler vorgesehen ist. Nach Abkühlung im Nachkühler E9 wird das verdich-

tete Kältemittelgemisch über die Leitung **5** durch vier hintereinander geschaltete Wärmetauscher E2 bis E5 geführt. In diesen wird das Kältemittelgemisch im indirekten Wärmetausch mit dem Kältemittel des Reinstoffkältekreislaufes, auf den im Folgenden noch näher eingegangen werden wird, soweit abgekühlt, dass es am Ausgang des letzten Wärmetauschers E5 flüssig und damit einphasig vorliegt.

**[0018]** Um diese Totalkondensation des Kältemittelgemisches des Kältemittelgemischkreislaufes am Ausgang des letzten Wärmetauschers E5 zu erreichen, sind die Zusammensetzung des Kältemittelgemisches und/oder der Verdichtendruck des Kältemittelgemischkreislaufes entsprechend zu wählen.

**[0019]** Als Kältemittel für den Reinstoffkältekreislauf wird vorzugsweise  $C_3H_8$ ,  $C_3H_6$ ,  $C_2H_6$ ,  $C_2H_4$  oder  $CO_2$  verwendet. Das Kältemittelgemisch des Kältemittelgemischkreislaufes enthält vorzugsweise Stickstoff, Methan und wenigstens zwei der Komponenten aus der Gruppe  $C_2H_4$ ,  $C_2H_6$ ,  $C_3H_8$ ,  $C_4H_{10}$ , und  $C_5H_{12}$ .

**[0020]** Das durch den Reinstoffkältekreislauf verflüssigte Kältemittelgemisch kann nunmehr über die Leitung **6** unmittelbar dem Wärmetauscher E7 zugeführt werden. Das Vorsehen eines dem Wärmetauscher E7 vorgeschalteten Abscheiders erübrigt sich dadurch. Im Wärmetauscher E7 wird das flüssige Kältemittelgemisch unterkühlt, bevor es über Leitung **7** abgezogen und im Ventil a auf den niedrigsten Druck entspannt wird.

**[0021]** Alternativ zu dem in der Figur dargestellten Ventil a kann ein Flüssigexpander vorgesehen werden, der der arbeitsleistenden Entspannung des Kältemittelgemisches am kalten Ende des Wärmetauschers E7 dient.

**[0022]** Das entspannte und über Leitung **7** erneut dem Wärmetauscher E7 zugeführte Kältemittelgemisch dient im Wärmetauscher E7 der Verflüssigung und Unterkühlung des Erdgasstromes. In vorteilhafter Weise verdampft das Kältemittelgemisch bei der Verflüssigung und Unterkühlung des Erdgasstromes vollständig, so dass über Leitung **8** ein vollständig verdampfter Kältemittelgemischstrom aus dem Wärmetauscher E7 abgezogen und dem Wärmetauscher E6 zugeführt wird. In diesem wird das Kältemittelgemisch gegen den abzukühlenden Erdgasstrom überhitzt, bevor es über Leitung **9** erneut dem Eingang der Kreislaufverdichtereinheit V2/V2' zugeführt wird.

**[0023]** Der bereits erwähnte Reinstoffkältekreislauf weist ebenfalls eine mehrstufige Verdichtereinheit V1 auf, der ein Verflüssiger E8 zugeordnet ist. Das auf den gewünschten Enddruck verdichtete Kältemittel wird über Leitung **10** einem Verzweigungspunkt zugeführt, an dem ein Teilstrom des Kältemittels über das Ventil b in den bereits erwähnten Wärmetauscher E1

entspannt und aus diesem über die Leitungen **11** und **13** wieder der Verdichtereinheit V1 zugeführt wird. Ein zweiter Teilstrom wird über Leitung **12** und Ventil c in den Wärmetauscher E2 entspannt.

**[0024]** Während der gasförmige Anteil des Kältemittels über Leitung **13** aus dem Wärmetauscher E2 abgezogen und der Verdichtereinheit V1 auf einer Zwischendruckstufe zugeführt wird, wird der flüssige Anteil des Kältemittels über Leitung **14** aus dem Wärmetauscher E2 abgezogen und über Ventil d in den Wärmetauscher E3 entspannt. Erneut erfolgt eine Aufteilung in einen gasförmigen Kältemittelanteil, der über Leitung **15** der Verdichtereinheit V1 auf einer Zwischendruckstufe zugeführt wird, während über Leitung **16** der flüssige Kältemittelanteil abgezogen und über Ventil e in den Wärmetauscher E4 entspannt wird. Auch aus diesem wird der gasförmige Kältemittelanteil über Leitung **17** der Verdichtereinheit V1 auf einer Zwischendruckstufe zugeführt, während über Leitung **18** der flüssige Kältemittelanteil abgezogen und über Ventil f in den letzten Wärmetauscher E5 entspannt wird. Über Leitung **19** wird das vollständig verdampfte Kältemittel der Verdichtereinheit V1 auf der niedrigsten Druckstufe zugeführt.

**[0025]** Anstelle der in der Figur dargestellten Abkühlung des Kältemittelgemisches in den Wärmetauschern E2 bis E5 können in der Praxis auch weniger als vier Wärmetauscher realisiert werden. Die Anzahl der Wärmetauscher wird im Wesentlichen durch die Umgebungstemperatur und die Zahl der Laufräder im Turboverdichter V1 bestimmt.

**[0026]** Das erfindungsgemäße Verfahren zum Verflüssigen einer Kohlenwasserstoff-reichen Fraktion schafft einen Verflüssigungsprozess, der bei verringertem apparativen Aufwand eine verbesserte Gesamtwirtschaftlichkeit aufweist, wobei dies mit einer geringen Erhöhung des Energieverbrauches erkauft werden muss. Die erfindungsgemäße Verfahrensweise eignet sich insbesondere für Leistungsbereiche zwischen 0,5 und 3 Mio. jato LNG.

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Patentliteratur**

- US 3763658 [\[0002\]](#)

**Patentansprüche**

1. Verfahren zum Verflüssigen einer Kohlenwasserstoff-reichen Fraktion, wobei

- a) die Abkühlung (E6) und Verflüssigung (E7) der Kohlenwasserstoff-reichen Fraktion (**1, 2**) im indirekten Wärmetausch gegen das Kältemittelgemisch eines Kältemittelgemischkreislaufes (**5-9**) erfolgen,
- b) die Abkühlung (E6) der Kohlenwasserstoff-reichen Fraktion (**1, 2**) im indirekten Wärmetausch gegen das vollständige verdampfte Kältemittelgemisch des Kältemittelgemischkreislaufes (**5-9**) erfolgt,
- c) das verdichtete Kältemittelgemisch des Kältemittelgemischkreislaufes (**5-9**) mittels eines Reinstoffkältekreislaufes (**10-19**) vorgekühlt wird, und
- d) die Zusammensetzung des Kältemittelgemisches und/oder der Verdichterenddruck des Kältemittelgemischkreislaufes (**5-9**) so gewählt wird bzw. werden, dass das Kältemittelgemisch durch den Reinstoffkältekreislauf (**10-19**) vollständig verflüssigt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Kältemittel des Reinstoffkältekreislaufes (**10-19**) zu wenigstens 95 Vol.-% aus  $C_3H_8$ ,  $C_3H_6$ ,  $C_2H_6$ ,  $C_2H_4$  oder  $CO_2$  besteht.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Kältemittelgemisch des Kältemittelgemischkreislaufes (**5-9**) Stickstoff, Methan und wenigstens zwei der Komponenten aus der Gruppe  $C_2H_4$ ,  $C_2H_6$ ,  $C_3H_8$ ,  $C_4H_{10}$ , und  $C_5H_{12}$  enthält.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Kältemittelgemisch der Kältemittelgemischkreislaufes (**5-9**) bei der Verflüssigung (E7) der Kohlenwasserstoff-reichen Fraktion (**3**) vollständig verdampft.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

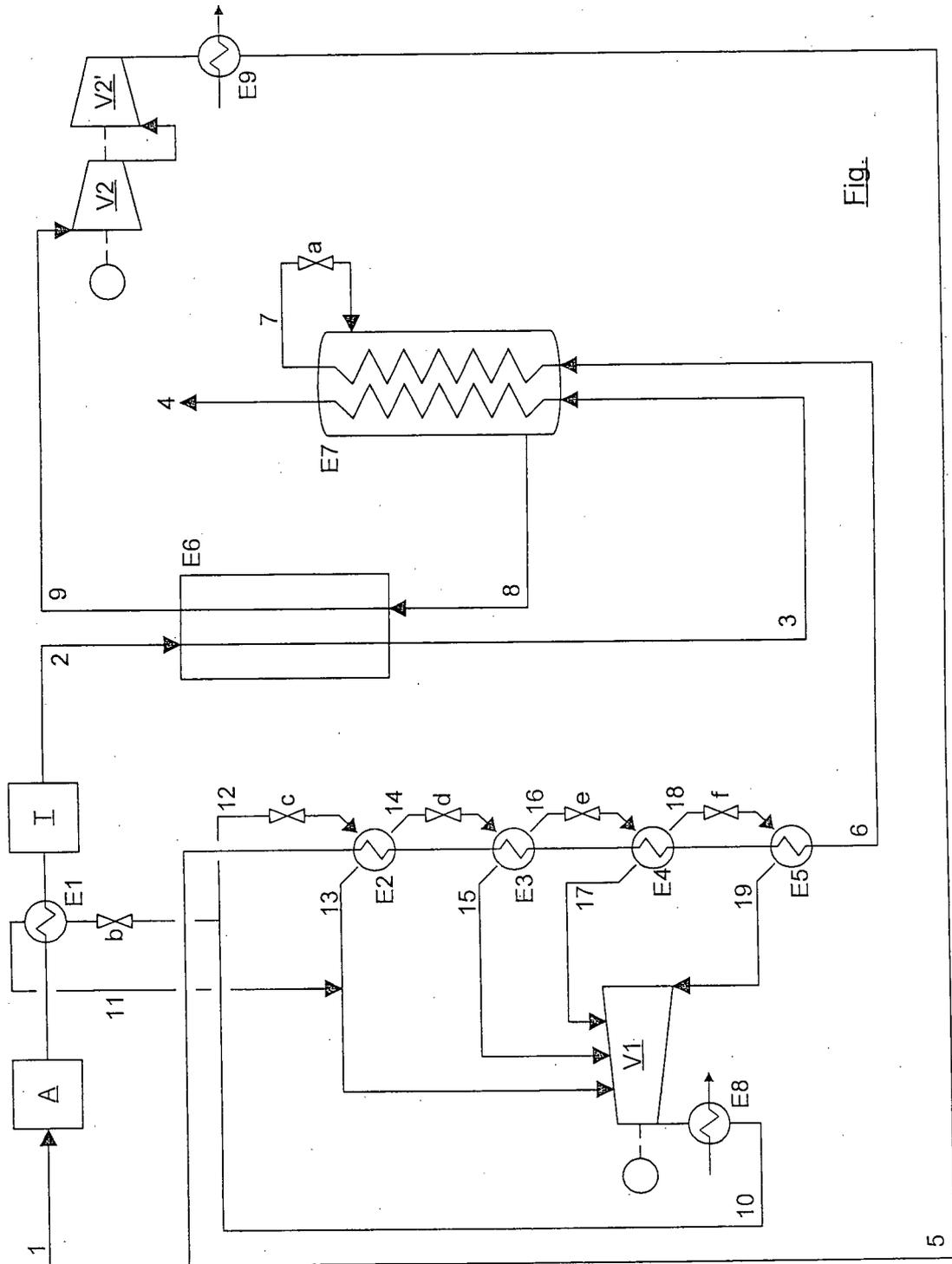


Fig. 5