

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges
Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales
Veröffentlichungsdatum
5. Februar 2015 (05.02.2015)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2015/014485 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation: Nicht klassifiziert (74) Anwalt: IMHOF, Dietmar; LINDE AG, Legal Services Intellectual Property, Dr.-Carl-von-Linde-Str. 6-14, 82049 Pullach (DE).
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2014/002074
- (22) Internationales Anmeldedatum: 29. Juli 2014 (29.07.2014) (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität: 13003861.5 2. August 2013 (02.08.2013) EP
- (71) Anmelder: LINDE AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Klosterhofstr. 1, 80331 München (DE).
- (72) Erfinder: ALEKSEEV, Alexander; Ahornstraße 6a, 82515 Wolfratshausen (DE). GOLOUBEV, Dimitri; Rümmanstr. 17, 80804 München (DE). ECKERT, Thomas; Straß 90, 84524 Neuötting (DE).
- (84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR PRODUCING COMPRESSED NITROGEN

(54) Bezeichnung : VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR ERZEUGUNG VON DRUCKSTICKSTOFF

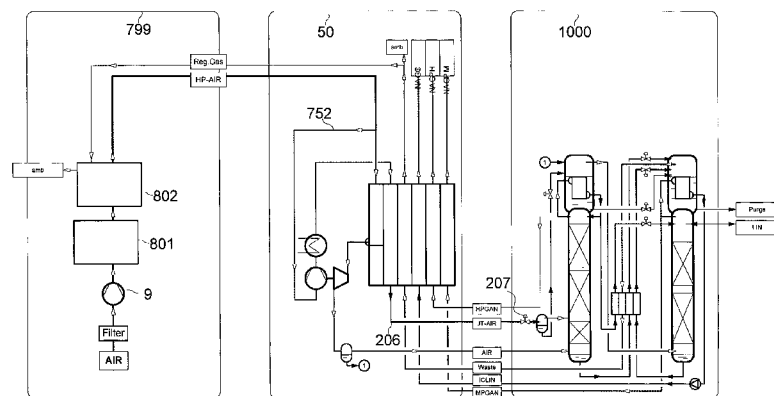


Fig. 10

(57) Abstract: The invention relates to a method and to a device that serve for producing compressed nitrogen by low-temperature decomposition of air in a distillation column system which has a high-pressure column (202), a low-pressure column (203), a high-pressure column head condenser (204) and a low-pressure column head condenser (205). A main air compressor (9) constitutes the only gas compressor powered by external energy. In the main air compressor (9) the feed air is compressed to a total air pressure which is at least 5 bars above the operating pressure of the high-pressure column (202). A first part-stream (56) of the high-pressure total air stream (11, 811) from the main air compressor (9) is expanded to perform work as operating pressure of the high-pressure column or a higher pressure (57) and is introduced into the distillation column system (201). A second part-stream (52, 55) of the high-pressure total air stream (11, 811) is cooled in a main heat exchanger (51) and is introduced at least partially in liquid form into the distillation column system (206, 210). An internally compressed nitrogen stream is formed by a part-stream (319) of the liquid nitrogen stream (215) from the high-pressure column head condenser (204) and/or a part-stream (234, 334) of the liquid nitrogen stream (232) from the low-pressure column head condenser (205); the internally compressed nitrogen stream is brought in the liquid state to a product pressure (235, 335a, 335b) which is between 15 and 100 bars; then the internally compressed nitrogen stream is heated in the main heat exchanger (51) and then extracted as a gaseous compressed nitrogen product (60) below the product pressure.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2015/014485 A2



RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)*

Das Verfahren und die Vorrichtung dienen zur Erzeugung von Druckstickstoff durch Tieftemperaturzerlegung von Luft in einem Destillationssäulen-System, das eine Hochdrucksäule (202) und eine Niederdrucksäule (203) sowie einen Hochdrucksäulen-Kopfcondensator (204) und einen Niederdrucksäulen-Kopfcondensator (205) aufweist. Ein Hauptluftverdichter (9) stellt den einzigen mit externer Energie angetriebenen Gasverdichter dar; darin wird die Einsatzluft auf einen Gesamtluftdruck verdichtet, der mindestens 5 bar über dem Betriebsdruck der Hochdrucksäule (202) liegt. Ein erster Teilstrom (56) des Hochdruck-Gesamtluftstroms (11, 811) aus dem Hauptluftverdichter (9) wird arbeitsleistend Betriebsdruck der Hochdrucksäule oder einen höheren Druck entspannt (57) und in das Destillationssäulen-System eingeleitet (201). Ein zweiter Teilstrom (52, 55) des Hochdruck-Gesamtluftstroms (11, 811) wird in einem Hauptwärmetauscher (51) abgekühlt und mindestens teilweise flüssig in das Destillationssäulen-System eingeleitet (206, 210). Ein Innenverdichtungsstickstoffstrom wird durch einen Teilstrom (319) des flüssigen Stickstoffstroms (215) aus dem Hochdrucksäulen-Kopfcondensator (204) und/oder einen Teilstrom (234, 334) des flüssigen Stickstoffstroms (232) aus dem Niederdrucksäulen-Kopfcondensator (205) gebildet; er wird in flüssigem Zustand auf einen Produktdruck gebracht (235, 335a, 335b), der zwischen 15 und 100 bar liegt; anschließend wird er im Hauptwärmetauscher (51) angewärmt und anschließend als gasförmiger Druckstickstoff-Produktstrom (60) unter dem Produktdruck abgezogen.

Beschreibung

Verfahren und Vorrichtung zur Erzeugung von Druckstickstoff

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erzeugung von Druckstickstoff gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

5

Ein Verfahren der eingangs genannten Art ist aus US 6141989 bekannt. Hier wird in einem Destillationssäulen-System mit drei oder sogar vier Kondensator-Verdampfern Druckstickstoff unter einem Produktdruck von 12 bar durch Innenverdichtung erzeugt. Dabei wird Stickstoff flüssig auf den Produktdruck gebracht und anschließend in
10 indirektem Wärmeaustausch mit Luft verdampft und auf etwa Umgebungstemperatur angewärmt.

15

Bei den Druckangaben werden hier die natürlichen Druckverluste in der Regel nicht einbezogen. Drücke werden hier als "gleich" gewertet, wenn der Druckunterschied zwischen den entsprechenden Stellen nicht größer als die natürlichen Leitungsverluste sind, die durch Druckverluste in Rohrleitungen, Wärmetauschern, Kühlern, Adsorbern etc. verursacht werden. Zum Beispiel erfährt der Innenverdichtungsstickstoffstrom einen Druckverlust in den Passagen des Hauptwärmetauschers; trotzdem werden hier der Abgabedruck des Druckstickstoff-Produkts stromabwärts des
20 Hauptwärmetauschers und der Druck stromaufwärts des Hauptwärmetauschers gleichermaßen als "der Produktdruck" bezeichnet.

25

Als "Kondensator-Verdampfer " wird ein Wärmetauscher bezeichnet, in dem ein erster, kondensierender Fluidstrom in indirekten Wärmeaustausch mit einem zweiten, verdampfenden Fluidstrom tritt. Jeder Kondensator-Verdampfer weist einen
30 Verflüssigungsraum und einen Verdampfungsraum auf, die aus Verflüssigungspassagen beziehungsweise Verdampfungspassagen bestehen. In dem Verflüssigungsraum wird die Kondensation (Verflüssigung) eines ersten Fluidstroms durchgeführt, in dem Verdampfungsraum die Verdampfung eines zweiten Fluidstroms. Verdampfungs- und Verflüssigungsraum werden durch Gruppen von Passagen gebildet, die untereinander in Wärmeaustauschbeziehung stehen.

Der "Hauptwärmetauscher" dient zur Abkühlung von Einsatzluft in indirektem Wärmeaustausch mit Rückströmen aus dem Destillationssäulen-System. Er kann aus einem einzelnen oder mehreren parallel und/oder seriell verbundenen Wärmetauscherabschnitten gebildet sein, zum Beispiel aus einem oder mehreren

5 Plattenwärmetauscher-Blöcken. Der Hauptwärmetauscher in diesem Sinne wird beispielsweise in US 6141989 durch die Kombination eines Gas-Gas-Tauschers mit einem Kondensator-Verdampfer gebildet, in dem gepumpter Hochdrucksäulen-Stickstoff in indirektem Wärmeaustausch mit einem kondensierenden Teilstrom der Einsatzluft verdampft wird. In dem Hauptwärmetauscher der Erfindung wird der

10 "Innenverdichtungsstickstoffstrom" gegen einen Hochdruckluftstrom verdampft (oder - falls sein Druck überkritisch pseudo-verdampft) und angewärmt. Die Hochdruckluft wird dabei abgekühlt und verflüssigt oder, falls ihr Druck überkritisch ist, pseudo-verflüssigt. Bei der Erfindung wird vorzugsweise kein separater Kondensator-Verdampfer zu Stickstoffverdampfung verwendet, sondern die (Pseudo-)Verdampfung und die

15 Anwärmung finden in einem integrierten Hauptwärmetauscher statt.

Unter einem "sauerstoffangereicherter Produktgasstrom" ist hier jeder gasförmige Produkt- oder Reststrom zu verstehen, der von dem System abgegeben wird und der einen Sauerstoffgehalt aufweist, der höher ist als derjenige von Luft. Es kann sich

20 dabei um sehr reinen Sauerstoff handeln oder auch um ein nur leicht sauerstoffangereichertes Restgas. Das Verfahren der Erfindung kann einen oder mehrere solcher Ströme aufweisen.

Da das Druckstickstoff-Produkt der oben erwähnten US 6141989 unter einem Druck

25 von 12 bar erzeugt wird, muss es für viele Anwendungen außerhalb der Luftzerlegungsanlage mit Hilfe eines Gasverdichters weiter verdichtet werden, beispielsweise auf 100 bar.

Das bekannte Verfahren benötigt also zwei extern angetriebene Verdichter 3 und 5, wie es in **Figur 1** schematisch dargestellt ist, um ein Druckstickstoff-Produkt unter

30 mehr als 12 bar zu liefern. Insbesondere dann, wenn am Ort der Anlage kein leistungsfähiges Netz für elektrischen Strom vorhanden ist und eine separate Antriebseinheit wie eine Gasturbineneinheit 1 zur Verfügung steht, bedeutet dies mehrere Schritte zur Übertragung der an der Welle der Gasturbine erzeugten

35 mechanischen Energie auf die Antriebswellen der Verdichter 3 und 5: Zunächst wird

die mechanische Energie in einem Generator 8 in elektrische Energie umgewandelt und in einem Transformator 2 auf eine geeignete Spannung gebracht. Anschließend wird die elektrische Energie in den Motoren 4 und 6 wieder in mechanische Energie zurückverwandelt. Die Luftzerlegung im engeren Sinne 7 (ASU) wird durch eine
5 konventionelle Luftzerlegungsanlage gebildet, die Mitteldruckstickstoff (PGAN - Pressurized Gaseous Nitrogen) unter einem Druck von beispielsweise 12 bar erzeugt. Dieser Mitteldruckstickstoff muss anschließend in einem Stickstoffgasverdichter 5 weiter auf einen Druck von beispielsweise 100 bar verdichtet werden, um als Hochdruckstickstoff (HPGAN - High Pressure Gaseous Nitrogen) abgegeben werden
10 zu können, beispielsweise zur Unterstützung der Erdölförderung (to EOR - Enhanced Oil Recovery). (Die Funktionsweise der Gasturbineneinheit 1 wird unten bei Figur 2 näher erläutert.)

Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, auf energetisch besonders günstige Weise
15 ein Druckstickstoff-Produkt unter sehr hohem Druck zu erzeugen und dabei eine vergleichsweise wenig aufwändige Apparatur zu verwenden.

Diese Aufgabe wird durch die Gesamtheit der Merkmale des Patentanspruchs 1 gelöst.

20 Bei der Erfindung wird ein Druckstickstoff-Produkt unter einem Druck von 15 bis 100 bar direkt durch Innenverdichtung gewonnen. Falls dieser Druck für die vorgegebene Anwendung (zum Beispiel in bei der Erdölförderung - EOR = Enhanced Oil Recovery) ausreicht, braucht der gasförmige Druckstickstoff außerhalb der Luftzerlegungsanlage nicht nachverdichtet zu werden und der entsprechende
25 energetische und apparative Aufwand entfällt. Selbstverständlich ist eine externe Weiterverdichtung über den Innenverdichtungsdruck hinaus auch bei der Erfindung möglich; aber auch dann ist der Energieaufwand relativ gering und es genügt ein relativ kleiner Stickstoff-Gasverdichter.

30 Die Betriebsdrücke der Säulen (jeweils am Kopf) betragen bei der Erfindung
- 6 bis 12 bar in der Hochdrucksäule 202 und
- 3 bis 5 bar in der Niederdrucksäule 204.

Grundsätzlich ist es bekannt, Stickstoff-Innenverdichtungen in dem Druckbereich von
35 15 bis 100 bar zu betreiben. Bei einer Anwendung dieser bekannten Lehre auf das

Verfahren von US 6141989 würde der Fachmann jedoch nur den unbedingt für die Innenverdichtung erforderlichen Teil der Luft auf einen erhöhten Druck verdichten, der mehr als 5 bar über dem Hochdrucksäulendruck liegt. Eine Verdichtung der Gesamtluft auf diesen sehr hohen Druck erschiene als vermeidbare Energieverschwendung, weil
5 dieser hohe Druck für den übrigen Teil der Einsatzluft, der nicht für die Innenverdichtung erforderlich ist, kaum sinnvoll zu nutzen zu sein scheint.

Im Rahmen der Erfindung hat sich jedoch überraschenderweise herausgestellt, dass bei diesem speziellen Prozess, der hauptsächlich oder ausschließlich zur Erzeugung
10 von Druckstickstoff durch Innenverdichtung dient, gerade bei Verdichtung der Gesamtluft auf einen sehr hohen Druck insgesamt ein energetisch besonders günstiges Verfahren ergibt.

Dabei kann auch der apparative Aufwand vergleichsweise gering gehalten werden, indem trotz des hohen Luftdrucks nur ein einziger extern angetriebener Verdichter
15 verwendet wird, nämlich der Hauptluftverdichter. Damit sind natürlich einstufige turbinengetriebene Verdichter (Booster) nicht ausgeschlossen, die keine externe Energie benötigen, sondern sozusagen mit der im Hauptluftverdichter erzeugten Energie angetrieben wird, die bei der arbeitsleistenden Entspannung in der Turbine in
20 mechanische Energie umgewandelt wird.

Vorzugsweise wird der "erste Teilstrom", der arbeitsleistend entspannt wird, durch den gesamten Rest des Gesamtluftstroms gebildet, der nicht als "zweiter Teilstrom" für die Innenverdichtung benötigt wird. Der "erste Teilstrom" der Luft kann vor der
25 arbeitsleistenden Entspannung auf unter Umgebungstemperatur abgekühlt werden, insbesondere in dem Hauptwärmetauscher auf eine Zwischentemperatur zwischen den Temperaturen des warmen und des kalten Endes des Hauptwärmetauschers. Er tritt dann in gasförmigem Zustand in die arbeitsleistende Entspannung ein und wird schließlich mindestens teilweise in gasförmigem Zustand in das Destillationssäulen-
30 System, insbesondere in die Hochdrucksäule, eingeleitet. Der Gasanteil des ersten Teilstroms bildet den aufsteigenden Dampf im unteren Bereich der Hochdrucksäule. Alternativ zu der gasförmigen Einleitung in die Hochdrucksäule kann der arbeitsleistend entspannte erste Teilstrom in einem Sumpfverdampfer der Hochdrucksäule teilweise oder vollständig verflüssigt und flüssig in die Hochdrucksäule
35 eingespeist werden; das aufsteigende Gas im unteren Bereich der Hochdrucksäule

wird dann durch den in dem Hochdrucksäulen-Sumpfverdampfer erzeugten Dampf gebildet.

Weiter Energie gespart werden kann bei der Erfindung durch eine spezielle
5 Ausgestaltung des Destillationssäulen-Systems, wie sie in Patentanspruch 2 beschrieben ist. Das Destillationssäulen-System wird also nicht wie eine klassische Linde-Doppelsäule betrieben (das heißt der Hochdrucksäulen-Kopfcondensator wird nicht mit Sumpfflüssigkeit der Niederdrucksäule gekühlt), sondern der
10 Hochdrucksäulen-Kopfcondensator wird mit ausschließlich mit flüssiger Luft (das heißt mit einer Flüssigkeit, die gleiche oder eine ähnliche Zusammensetzung wie die atmosphärische Luft aufweist) betrieben. Der "zweite Teil der Einsatzluft" wird direkt oder über einen Abscheider (Phasentrenner), der in einem separaten Behälter angeordnet oder in die Hochdrucksäule eingebaut sein kann, in den
Verdampfungsraum des Hochdrucksäulen-Kopfcondensators eingeleitet, ohne dass er
15 zuvor an der Rektifikation in einer der Säulen des Destillationssäulen-Systems teilnimmt.

Insbesondere dann, wenn diese Flüssigluft das einzige Kühlfluid für den
Hochdrucksäulen-Kopfcondensator darstellt, können die beiden Säulen nebeneinander
20 angeordnet werden, ohne dass Prozesspumpen zum Anheben von Flüssigkeiten benötigt werden. Das System wird dadurch kompakter und die Säulen können weitgehend vorgefertigt und anschließend zum Aufstellungsort transportiert werden.

Vorzugsweise weist der der Hauptluftverdichter eine einzige Antriebseinheit auf, die
25 insbesondere durch eine Gasturbineneinheit, eine Dampfturbine, einen Gasmotor oder einen Dieselmotor gebildet wird. Diese Antriebseinheit stellt dann die alleinige Quelle für externe Energie des gesamten Systems dar, wenn man von Flüssigpumpen, die sehr viel weniger Energie als Gasverdichter verbrauchen, und von der Energiezufuhr für Hilfseinrichtungen wie Regel- und Steuereinrichtung, Beleuchtung etc. absieht.
30 Damit wird eine sehr weitgehende Vereinfachung des Verdichterantriebs erreicht; Generatoren, Transformatoren und Elektromotoren für die Gasverdichtung sind unnötig und können damit auch nicht zu Energieverlusten führen. Dies gilt insbesondere dann, wenn der Hauptluftverdichter den einzigen mit externer Energie angetriebenen Gasverdichter darstellt, der in dem Verfahren verwendet wird.

Außerdem ist es günstig, wenn bei dem erfindungsgemäßen Verfahren der zweite Teilstrom des Hochdruck-Gesamtluftstroms in einer Entspannungsturbine (Flüssigturbine) anstelle der Entspannung in einem Drosselventil entspannt und dadurch verflüssigt wird und danach in das Destillationssäulen-System eingeleitet wird.

5

Auf einen Sumpfverdampfer der Niederdrucksäule kann verzichtet werden, indem in dem Verdampfungsraum des Hochdrucksäulen-Kopfcondensators erzeugter Dampf in den Sumpfbereich der Niederdrucksäule eingeleitet wird, wobei dieser Dampf das gesamte im unteren Abschnitt der Niederdrucksäule aufsteigende Gas bildet.

10

In einer ersten Ausführungsvariante der Erfindung wird ein "dritter Teilstrom" des ersten flüssigen Stickstoffstroms als Rücklauf auf die Niederdrucksäule aufgegeben, und der Innenverdichtungsstickstoffstrom wird durch einen zweiten Teilstrom des zweiten flüssigen Stickstoffstroms gebildet. Durch die Verwendung von

15 Flüssigstickstoff aus dem Hochdrucksäulen-Kopfcondensator als Rücklauf für die Niederdrucksäule kann ein entsprechend erhöhter Anteil des Flüssigstickstoffs aus dem Niederdrucksäulen-Kopfcondensator der Innenverdichtung zugeführt werden. (Die Bezeichnung "dritter Teilstrom" bedeutet hier, dass in dem Verfahren ein "zweiter Teilstrom" des ersten flüssigen Stickstoffstroms existieren kann, aber nicht muss.)

20

In einer zweiten Ausführungsvariante der Erfindung wird der Innenverdichtungsstickstoffstrom durch einen zweiten Teilstrom des ersten flüssigen Stickstoffstroms (aus dem Hochdrucksäulen-Kopfcondensator) und einen zweiten Teilstrom des zweiten flüssigen Stickstoffstroms (aus dem Niederdrucksäulen-Kopfcondensator)

25 gebildet wird, wobei diese beiden Teilströme getrennt voneinander auf den Produktdruck gebracht werden. Wenn Stickstoff unter zwei oder mehreren verschiedenen Produktdrücken gebraucht wird, ist es in einer abgewandelten Ausführungsform auch möglich, die beiden zweiten Teilströme auf unterschiedliche Produktdrücke zu bringen oder Teilströme auf die erforderliche Drücke (nach dem
30 Pumpen) zu entspannen; die verschiedenen Innenverdichtungsstickstoffströme unter den verschiedenen Drücken werden dann getrennt voneinander durch den Hauptwärmetauscher geführt und als Druckstickstoff-Produkte unter den verschiedenen Drücken gewonnen.

In einer dritten Ausführungsvariante der Erfindung wird der zweite Teilstrom des zweiten flüssigen Stickstoffstroms (aus dem Niederdrucksäulen-Kopfcondensator) zunächst in flüssigem Zustand auf etwa Hochdrucksäulendruck gebracht, und anschließend mit dem zweiten Teilstrom des ersten flüssigen Stickstoffstroms (aus dem Hochdrucksäulen-Kopfcondensator) zum zusammengeführt. Das Gemisch bildet dann den Innenverdichtungsstickstoffstrom und wird in einem weiteren Schritt gemeinsam vom Hochdrucksäulendruck auf den Produktdruck gebracht.

Kälte wird in dem erfindungsgemäßen Verfahren vorzugsweise in einer einzigen Entspannungsmaschine erzeugt, wobei der erste Teilstrom des Hochdruck-Gesamtluftstroms stromabwärts seiner arbeitsleistenden Entspannung mindestens teilweise in die Hochdrucksäule eingeleitet wird. Die Entspannungsmaschine kann beispielsweise durch eine Expansionsturbine gebildet werden. Sie kann an einen Nachverdichter gekoppelt sein, in dem der erste Teilstrom des Hochdruck-Gesamtluftstroms stromaufwärts seiner arbeitsleistenden Entspannung oder der zweite Teilstrom des Hochdruck-Gesamtluftstroms oder der Hochdruck-Gesamtluftstrom auf einen Druck nachverdichtet wird, der höher als der Gesamtluftdruck ist.

Grundsätzlich kommt das Verfahren der Erfindung mit zwei Kondensator-Verdampfern aus, dem Hochdrucksäulen-Kopfcondensator und dem Niederdrucksäulen-Kopfcondensator. In speziellen Fällen kann es jedoch günstig sein, einen dritten Kondensator-Verdampfer in Form eines Hochdrucksäulen-Sumpfverdampfers zu verwenden. Dort wird Sumpfflüssigkeit der Hochdrucksäule verdampft in indirektem Wärmeaustausch mit kondensierender Luft, die in Form eines dritten Teils des Hochdruck-Gesamtluftstroms in den Verflüssigungsraum des Hochdrucksäulen-Sumpfverdampfers eingeleitet wird. Die verdampfte Sumpfflüssigkeit wird als aufsteigendes Gas in die Hochdrucksäule eingeleitet und verstärkt dort die Trennwirkung. Der "dritte Teil" des Hochdruck-Gesamtluftstroms kann durch den arbeitsleistend entspannten ersten Teilstroms oder durch einen Teil davon gebildet werden.

Bei allen Varianten des erfindungsgemäßen Verfahrens kann Energie eingespart werden, indem der zweite Teilstrom der Luft in einem turbinengetriebenen Nachverdichter auf einen zweiten Luftdruck nachverdichtet werden, der höher als der Gesamtluftdruck ist. Der Nachverdichter (Booster) wird vorzugsweise von der

Entspannungsmaschine angetrieben, in welcher der erste Teilstrom der Luft arbeitsleistend entspannt wird.

5 Günstig ist es außerdem, wenn der zweite Teilstroms (52) des Hochdruck-Gesamtluftstroms (11, 811) in einer Entspannungsturbine (anstelle der Entspannung in einem Drosselventil) entspannt und dadurch verflüssigt wird und danach in das Destillationssäulen-System eingeleitet wird. Diese Entspannungsturbine (Flüssigturbine) wird vorzugsweise von einem Generator gebremst, der elektrische Energie erzeugt.

10

Die energetische Effizienz kann bei dem erfindungsgemäßen Verfahren durch einen Verstärkungskreislauf für die Hochdrucksäule (Patentanspruch 12) oder einen Verstärkungskreislauf für die Niederdrucksäule (Patentanspruch 13) oder durch eine Kombination dieser beiden Verstärkungskreisläufe weiter verbessert werden

15

Die Erfindung betrifft außerdem eine Vorrichtung gemäß Patentanspruch 14. Die erfindungsgemäße Vorrichtung kann durch Vorrichtungsmerkmale ergänzt werden, die den Merkmalen der abhängigen Verfahrensansprüche entsprechen.

20 Die Erfindung sowie weitere Einzelheiten der Erfindung werden im Folgenden anhand von in den Figuren 2 bis 12 schematisch dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert. Hierbei zeigen:

25	Figur 2	den Betrieb einer erfindungsgemäßen Luftzerlegungsanlage mit einer Gasturbineneinheit als einzigem Antrieb,
	Figuren 3 bis 5	drei Ausführungsformen des Destillationssäulen-Systems eines erfindungsgemäßen Systems,
	Figuren 6 und 7	zwei Ausführungsformen einer Kühl- und Verflüssigungseinheit eines erfindungsgemäßen Systems und
30	Figuren 8 und 9	zwei Ausführungsformen von Luftvorbehandlungs- und Kühl- und Verflüssigungseinheiten eines erfindungsgemäßen Systems,
	Figur 10	ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens im Überblick,
35	Figur 11 und 12	zwei weitere Ausführungsbeispiele der Erfindung mit Verstärkungskreisläufen.

In **Figur 2** ist der Teil der Luftzerlegungsanlage, der stromabwärts des Hauptluftverdichters 9 angeordnet ist, lediglich schematisch als Kasten 10 (ASU) dargestellt. Im Inneren dieses Kastens verbirgt sich eine Luftvorbehandlungseinheit, eine Kühl- und Verflüssigungseinheit und ein Destillationssäulen-System. Diese
5 Verfahrensschritte werden in den folgenden Zeichnungen im Detail vorgestellt.

In dem Hauptluftverdichter 9, der mehrere Stufen mit Zwischenkühlung aufweist, wird atmosphärische Luft (AIR) auf einen Gesamtluftdruck verdichtet, der höher als 20 bar
10 ist und in einem konkreten Zahlenbeispiel 37,5 bar beträgt. Der Hochdruck-Gesamtluftstrom 11 (HP-AIR), der aus dem Hauptluftverdichter 9 austritt, wird in die Luftzerlegungsanlage im engeren Sinne 10 eingeleitet. Von dort wird ein innerverdichteter Druckstickstoff-Produktstrom 12 (ICGAN - Internally Compressed Gaseous Nitrogen) unter einem Produktdruck abgezogen, der über 60 bar liegt,
15 beispielsweise bei etwa 70 bar. Der Stickstoff-Produktstrom 12 wird in dem Anwendungsbeispiel zur Unterstützung der Erdölförderung verwendet (to EOR - Enhanced Oil Recovery).

Alle Stufen des Hauptluftverdichters werden über eine gemeinsame Welle angetrieben,
20 die mit der Welle einer Gasturbineneinheit 1 verbunden ist, die einen Gasturbinen-Verdichter 13, eine Gasturbinen-Brennkammer 14, einen Gasturbinen-Expander 15 und - fakultativ - eine Dampferzeugung 16 (HRSG - Heat Recovery Steam Generation). In dem Gasturbinen-Verdichter 13 wird Luft aus der Umgebung (amb) verdichtet; in der Brennkammer 14 wird Erdgas (NG) mit der verdichteten Luft verbrannt. Dem
25 Verbrennungsgas aus Brennkammer 14 wird in der Dampferzeugung Wärme entzogen; das abgekühlte Verbrennungsgas wird - gegebenenfalls nach Reinigung - wieder in die Umgebung (amb) abgeblasen.

Figur 3 zeigt ein erstes Ausführungsbeispiel für ein Destillationssäulen-System, wie es
30 in der Erfindung eingesetzt wird. Das Destillationssäulen-System weist eine Hochdrucksäule 202 mit Hochdrucksäulen-Kopfcondensator 204 und eine Niederdrucksäule 203 mit Niederdrucksäulen-Kopfcondensator 205 auf. Beide Kopfcondensatoren sind als Kondensator-Verdampfer ausgebildet. Die Betriebsdrücke der Säulen (jeweils am Kopf) betragen in dem Beispiel
35 - 6 bar in der Hochdrucksäule 202 und

- 3,5 bar in der Niederdrucksäule 203.

Ein "erster Teilstrom" 201 (AIR) des Hochdruck-Gesamtluftstroms 11 (siehe Figur 2) wird nach arbeitsleistender Entspannung in der Kühl- und Verflüssigungseinheit (siehe
5 Figuren 6 bis 9) unter einem Druck von 6 bar gasförmig in den unteren Bereich der Hochdrucksäule 202 eingeleitet. Ein "zweiter Teilstrom" 206 (JT-AIR = Joule-Thomson Air) des Hochdruck-Gesamtluftstroms wird unter einem Druck von 3,5 bar aus der Kühl- und Verflüssigungseinheit entnommen, in einem Drosselventil 207 auf
10 Hochdrucksäulendruck entspannt und über Leitung 208 in überwiegend flüssigem Zustand in eine Tasse 209 eingeleitet, die innerhalb der Hochdrucksäule 202 an einer Zwischenstelle angeordnet. Diese Tasse 209 dient als Abscheider (Phasentrenner).

Der gasförmige Anteil aus der Leitung 208 steigt innerhalb der Hochdrucksäule 202 auf; der flüssige Anteil wird mindestens teilweise wieder entnommen und über Leitung
15 210 und Drosselventil 211 in den Verdampfungsraum des Hochdrucksäulen-Kopfcondensators 204 eingeleitet, ebenso wie ein weiterer Flüssigluftstrom 221, der durch die bei der arbeitsleistenden Entspannung erzeugte geringe Flüssigkeitsmenge gebildet wird. In dem Verdampfungsraum des Hochdrucksäulen-Kopfcondensators 204 erzeugter Dampf wird über Leitung 212 abgezogen und dem unteren Bereich der
20 Niederdrucksäule 203 als aufsteigender Dampf zugeleitet. Gasförmiger Kopfstickstoff 213 aus der Hochdrucksäule 202 wird mindestens zu einem ersten Teil 214 in den Verflüssigungsraum des Hochdrucksäulen-Kopfcondensators 204 eingeleitet und dort mindestens teilweise, vorzugsweise vollständig oder fast vollständig verflüssigt. Dabei wird ein "erster flüssiger Stickstoffstrom" 215 gebildet. Ein erster Teilstrom 216 des
25 ersten flüssigen Stickstoffstroms 215 wird als Rücklaufflüssigkeit auf die Hochdrucksäule 202 aufgegeben. Ein anderer Teil (der "dritte Teilstrom") 217 des ersten flüssigen Stickstoffstroms 215 wird in einem Unterkühlungs-Gegenströmer 218 abgekühlt und nach Drosselentspannung 219 über Leitung 220 in die Niederdrucksäule 203 eingespeist. (In dem Ausführungsbeispiel der Figur 3 existiert kein "zweiter
30 Teilstrom" des ersten flüssigen Stickstoffstroms 215.)

Die sauerstoffangereicherte Sumpfflüssigkeit 222 der Hochdrucksäule 202 wird im Unterkühlungs-Gegenströmer 218 unterkühlt und über Drosselventil 223 und Leitung
35 224 in den Verdampfungsraum des Niederdrucksäulen-Kopfcondensators 205 eingeleitet. Ein weiteres Kühlfluid für den Niederdrucksäulen-Kopfcondensator 205 wird

durch die Sumpfflüssigkeit 225 der Niederdrucksäule 203 gebildet, die ebenfalls im Unterkühlungs-Gegenströmer 218 unterkühlt, gedrosselt (226) und in den Verdampfungsraum des Niederdrucksäulen-Kopfcondensators 205 eingeleitet (227) wird. Außerdem wird Spülflüssigkeit 228 aus dem Hochdrucksäulen-Kopfcondensator 204 in den Verdampfungsraum des Niederdrucksäulen-Kopfcondensators 205 eingespeist. Aus dem Verdampfungsraum des Niederdrucksäulen-Kopfcondensators 205 wird ebenfalls eine Spülflüssigkeit abgezogen (Purge) und verworfen oder auf den überkritischen Druck verdichtet und durch den Hauptwärmetauscher geleitet.

- 10 In dem Verflüssigungsraum des Niederdrucksäulen-Kopfcondensators 205 wird mindestens ein erster Teil 231 des gasförmigen Kopfstickstoffs 230 aus der Niederdrucksäule 203 mindestens teilweise, vorzugsweise vollständig oder fast vollständig verflüssigt. Dabei wird ein zweiter flüssiger Stickstoffstrom 232 gebildet. Ein erster Teilstrom 233 des zweiten flüssigen Stickstoffstroms 232 wird als weitere
- 15 Rücklaufflüssigkeit auf die Niederdrucksäule 203 aufgegeben. Ein zweiter Teilstrom 234 wird einer Innenverdichtung zugeführt und dabei in einer Pumpe 235 in flüssigem Zustand auf einen Produktdruck gebracht, der zwischen 20 und 100 bar liegt und in dem Beispiel etwa 70 bar beträgt. Der überkritische Stickstoff (ICLIN - Internally Compressed Liquid Nitrogen) wird über Leitung 236 der Kühl- und
- 20 Verflüssigungseinheit zugeleitet.

Im Niederdrucksäulen-Kopfcondensator 205 gebildeter Dampf wird über Leitung 240 abgezogen, im Unterkühlungs-Gegenströmer 218 angewärmt und schließlich als Restgas (WASTE) der Kühl- und Verflüssigungseinheit zugeführt.

25

Über die Leitungen 237 beziehungsweise 238 kann ein Teil des gasförmigen Kopfstickstoffs aus der Hochdrucksäule 202 beziehungsweise der Niederdrucksäule 203 direkt als gasförmiges Druckprodukt (HPGAN - High Pressure Gaseous Nitrogen / MPGAN - Medium Pressure Gaseous Nitrogen) gewonnen werden, das natürlich noch

30 in der Kühl- und Verflüssigungseinheit auf etwa Umgebungstemperatur angewärmt wird. Bei Bedarf kann außerdem ein dritter Teilstrom 239 des zweiten flüssigen Stickstoffstroms 232 als Flüssigstickstoffprodukt (LIN - Liquid Nitrogen) gewonnen werden.

Alternativ zu der Ausführungsform der Figur 3 mit Tasse 209 innerhalb der Hochdrucksäule 202 kann ein separater Abscheider (Phasentrenner) verwendet werden; der gasförmige Anteil wird dann in die Hochdrucksäule eingeleitet, der flüssige mindestens teilweise in den Verdampfungsraum des Hochdrucksäulen-

5 Kopfkondensators 204.

Während in Figur 3 nur eine einzige Innenverdichtungspumpe 235 verwendet wird, werden in **Figur 4** deren zwei eingesetzt. Eine erste Pumpe 335a bringt den zweiten Teilstrom 334 des zweiten flüssigen Stickstoffstroms 232 wie in Figur 3 vom

10 Niederdrucksäulendruck auf den Produktdruck; dieser Strom umfasst jedoch im Gegensatz zu Figur 3 nicht das gesamte innenverdichtete Produkt, sondern nur einen Teil. Der Rest des innenverdichteten Stickstoffs wird durch einen zweiten Teilstrom 319 des ersten flüssigen Stickstoffstroms 215 gebildet, der in einer zweiten Pumpe 335b vom Hochdrucksäulendruck auf den Produktdruck gebracht wird. Die beiden

15 Innenverdichtungsstickstoffströme werden bei 337 zusammengeführt und bilden gemeinsam in Leitung 336 den überkritischen Stickstoff (ICLIN).

Außerdem wird in Figur 4 ein Teil 343 der Flüssiglufte aus der Tasse 209 im Unterkühlungs-Gegenströmer 318 abgekühlt und über Leitung 344 der

20 Niederdrucksäule 203 an einer Zwischenstelle zugeleitet.

Figur 5 unterscheidet sich von Figur 4 durch einen dritten Kondensator-Verdampfer, den Hochdrucksäulen-Sumpfverdampfer 438. In dessen Verdampfungsraum wird die gasförmige Luft 401 (AIR) vollständig kondensiert. Die dabei gebildete Flüssigkeit 442

25 wird zusätzlich in die Tasse 209 eingeleitet.

Die Figuren 6 und 7 zeigen zwei Ausführungsformen einer Kühl- und Verflüssigungseinheit 50, die mit Figur 2 und jedem der Destillationssäulen-Systeme der Figuren 3 bis 6 kombiniert werden können.

30

In **Figur 6** wird der gesamte gereinigte Hochdruck-Gesamtluftstrom 811 (siehe Figuren 8 und 9) unter dem Gesamtluftdruck dem warmen Ende eines Hauptwärmetauschers 51 zugeführt, der hier als ein einziger Plattenwärmetauscherblock realisiert ist.

Ein erster Teilstrom 56 des Hochdruck-Gesamtluftstroms 811 wird bei einer ersten Zwischentemperatur aus dem Hauptwärmetauscher entnommen und einer Expansionsturbine 57 zugeführt, die einen Nachverdichter 53 antreibt. Die arbeitsleistend entspannte Luft 58 wird in einen Abscheider (Phasentrenner) 59
5 eingeleitet. Der größte Teil des arbeitsleistend entspannten ersten Teilstroms 58 wird über Leitung 201 gasförmig in die Hochdrucksäule des Destillationssäulen-Systems eingeleitet; die abgetrennte Flüssigkeit 221 wird wie bei Figur 3 beschrieben behandelt.

Ein zweiter Teilstrom 52 des Hochdruck-Gesamtluftstroms 811 wird bei schon einer
10 zweiten, höheren Zwischentemperatur wieder entnommen und in dem turbinengetriebenen Nachverdichter (Booster) 53 mit Nachkühler 54 auf etwa 50 bar nachverdichtet. Der nachverdichtete zweite Teilstrom 55 wird wieder in das warme Ende des Hauptwärmetauschers 51 eingeführt, dort bis zum kalten Ende geführt und dort pseudo-verflüssigt. Der überkritische zweite Teilstrom 206 wird auf die in den
15 Figuren 3 bis 6 gezeigte Weise in das Destillationssäulen-System eingeführt.

Der überkritische Innenverdichtungsstickstoff 236/336 (ICLIN) strömt unter dem Produktdruck dem kalten Ende des Hauptwärmetauschers 51 zu. Dort wird er pseudo-verdampft und auf etwa Umgebungstemperatur angewärmt und schließlich gasförmig
20 als innenverdichtetes Druckstickstoff-Produkt 60 (ICGAN) gewonnen. Auch die gasförmigen Ströme 237, 238 und 241 aus dem Destillationssäulen-System werden im Hauptwärmetauscher 51 auf etwa Umgebungstemperatur angewärmt. Die angewärmten Stickstoffströme werden als Produkte 61/62 (HPGAN/MPGAN) abgegeben. Der angewärmte Restgasstrom wird teilweise über Leitung 63 in die
25 Umgebung (amb) abgeblasen und teilweise als Regeneriergas in der Reinigungseinrichtung 802 für die Einsatzluft (siehe Figuren 8 und 9) eingesetzt.

In den Destillationssäulen-Systemen der Figuren 3 bis 5 sind Hochdrucksäule 202 und Niederdrucksäule 203 nebeneinander angeordnet. Steht besonders wenig Grundfläche
30 zur Verfügung ist es aber bei der Erfindung auch möglich, die Säulen ähnlich wie einer klassischen Linde-Doppelsäule übereinander anzuordnen. In diesem Fall sind von unten beginnend die folgenden Apparateile in einer Linie übereinander platziert:

- Hochdrucksäule 202 (im Falle der Figur 5 mit in die Hochdrucksäule eingebautem Hochdrucksäulen-Sumpfverdampfer 438)
- 35 - Hochdrucksäulen-Kopfcondensator 204

- Niederdrucksäule 203
- Niederdrucksäulen-Kopfcondensator 205

Figur 7 unterscheidet sich durch die Leitung 765 von Figur 6. Der zweite Teilstrom 752
5 des Hochdruck-Gesamtluftstroms wird hier nicht im Hauptwärmetauscher vorgekühlt,
sondern durch die Zumischung eines kleinen Teils 765 des kalten ersten Teilstroms
756 vor dem Eintritt in die Turbine 57

In **Figur 8** ist neben der Kühl- und Verflüssigungseinheit 50 aus Figur 6 eine erste
10 Ausführungsform einer Luftvorbehandlungseinheit 799 dargestellt. Die Verdichterstufen
804, 806 und 807 und die Kühler 805, 808 des Hauptluftverdichters 9 sind nicht Teil
der Luftvorbehandlungseinheit.

Die verdichtete Gesamtluft 800 wird in einer Vorkühleinrichtung 801 auf etwa
15 Umgebungstemperatur gekühlt und dann in einer Reinigungseinrichtung 802, die
Molekularsieb-Adsorber aufweist, gereinigt. Der gereinigte und auf den
Gesamtluftdruck verdichtete Hochdruck-Gesamtluftstroms 811 wird in die Kühl- und
Verflüssigungseinheit 50 eingeleitet.

20 Grundsätzlich kann die Luftvorbehandlungseinheit 799 unter dem Gesamtluftdruck
betrieben werden (siehe Figur 10). Bei den hier verwendeten hohen Luftdrücken ist es
jedoch in den meisten Fällen günstiger, die Luftvorbehandlungseinheit wie in Figur 8
dargestellt unter einem niedrigeren Druck zu betreiben, in dem sie zwischen zwei
Stufen 806 und 807 des Hauptluftverdichters angeordnet ist. Dadurch wird die
25 Auslegung von Molekularsieb-Adsorber-Behältern und Umschaltventilen einfacher und
die Verluste beim Umschalten der Adsorber sind geringer.

Alle drei Stufen 804, 806, 807 des Hauptluftverdichters 9 des Ausführungsbeispiels
werden von einer einzigen Welle angetrieben, die mit der Welle einer
30 Gasturbineneinheit, eines Gasmotors oder eines anderen Motors verbunden ist.
Zwischen den ersten beiden Stufen 804, 806 ist ein Zwischenkühler 805, hinter die
dritte und letzte Stufe ein Nachkühler 808 geschaltet.

Figur 9 unterscheidet dadurch von Figur 8, dass ein Teil 902 der überkritischen
35 Hochdruckluft 901 nicht über Leitung 206 zum Destillationssäulen-System geführt wird,

sondern in einem Drosselventil 903 auf einen Zwischendruck entspannt wird, der dem Eintrittsdruck der letzten Stufe 807 des Hauptluftverdichters 9 (plus Leitungsverlusten) entspricht. Er wird im Hauptwärmetauscher 51 vollständig angewärmt und dann dem Eintritt der letzten Stufe 807 des Hauptluftverdichters 9 zugeleitet. Dadurch wird die zur
5 Verdampfung von Innenverdichtungsstickstoff verwendete Hochdruckluftmenge vergrößert. Dies führt zu einer Reduzierung des Enddruckes des Hauptluftverdichters und man kann die Anzahl von Verdichterstufen reduzieren (Kostenvorteil).

In **Figur 10** ist ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens in der
10 Gesamtheit dargestellt. Hier werden die Vorkühleinrichtung 801 und die Reinigungseinrichtung 802 der Luftvorbehandlungseinheit 799 unter dem Gesamtluftdruck betrieben. Der Hauptluftverdichter 9 weist mehrere Stufen mit Zwischenkühlung auf und wird durch eine einzige Maschine gebildet. Deren Welle wird von einem Elektromotor, einer Dampfturbine, einer Gasturbineneinheit, einem
15 Gasmotor oder einem anderen Motor, beispielsweise einem Dieselmotor angetrieben.

Die in Figur 10 dargestellte Kühl- und Verflüssigungseinheit 50 entspricht derjenigen von Figur 6, das Destillationssäulen-System 1000 demjenigen von Figur 3.

20 Die Luftvorbehandlungseinheit 799 und der Hauptluftverdichter 9 der Figur 10 kann mit jeder anderen der hier beschriebenen Kühl- und Verflüssigungseinheiten sowie mit jedem anderen der in dieser Anmeldung dargestellten Destillationssäulen-Systeme kombiniert werden.

25 Das Ausführungsbeispiel der **Figur 11** basiert auf Figur 10. Es weist eine Flüssigturbine (dense fluid turbine) 1107 anstelle des Drosselventils 207 auf und ist außerdem mit einem Verstärkungskreislauf ausgestattet.

In der Flüssigturbine 1107 kann ein erheblicher Teil der im zweiten Teilstrom 206
30 enthaltenen Druckenergie zurückgewonnen und in einem mit der Turbine verbundenen Generator 1171 in elektrische Energie umgewandelt werden. Diese Maßnahme trägt spürbar zu der günstigen energetischen Bilanz des erfindungsgemäßen Verfahrens bei und kann auch bei allen oben beschriebenen Ausführungsbeispielen eingesetzt werden. Umgekehrt können die Ausführungsbeispiele der Figuren 11 und 12 auch mit
35 einem Drosselventil anstelle der Flüssigturbine betrieben werden.

Der aus dem Verdampfungsraum des Hochdrucksäulen-Kopfcondensators 204 abgezogene Dampf wird hier nur zu einem Teil 1112 der Niederdrucksäule 203 zugeführt. Der Rest bildet einen Kreislaufstrom 1172, der in einem einstufigen
5 Verdichter (Booster) 1173, der als Kaltverdichter ausgebildet ist, von etwa 3,9 bar auf etwa 6,9 bar verdichtet wird. Der verdichtete Kreislaufstrom 1174 wird an einer Zwischenstelle in den Hauptwärmetauscher 51 eingeführt und dort bis zum kalten Ende abgekühlt. Der abgekühlte Kreislaufstrom 1175 wird wieder der Hochdrucksäule 202 am Sumpf zugeleitet und verstärkt den Trennprozess dort. Deshalb wird das
10 Ganze als Verstärkungskreislauf bezeichnet.

Die arbeitsleistende Entspannung des ersten Teilstroms 56 des Hochdruck-Gesamtluftstroms 11 wird in zwei parallel geschalteten Expansionsturbinen 57a, 57b durchgeführt. Die erste Turbine 57a treibt wie gehabt den warmen Nachverdichter 53
15 für den ersten Teilstrom 752 an, die zweite Turbine 57b den Kaltverdichter 1173. Die beiden Turbinen 57a, 57b weisen bei dem Ausführungsbeispiel dieselben Ein- und Austrittsparameter bezüglich des Drucks und der Temperatur auf (bei anderen Ausführungsbeispielen können die Eintrittstemperaturen auch unterschiedlich sein).

20 **Figur 12** unterscheidet sich von Figur 11 dadurch, dass der Verstärkungskreislauf 1272/1273/1274/1275 nicht vom Verdampfungsraum des Hochdrucksäulen-Kopfcondensators in die Hochdrucksäule, sondern vom Kopf der Niederdrucksäule 203 in den Verflüssigungsraum des Hochdrucksäulen-Kopfcondensators 204 führt. Dadurch wird der Umsatz am Hochdrucksäulen-Kopfcondensator 204 erhöht und damit
25 die Menge an aufsteigendem Gas 212 für die Niederdrucksäule 203, also der Umsatz in der Niederdrucksäule.

Ähnlich wie in Figur 3 (HPGAN, MPGAN) kann auch bei den Verfahren der Figuren 11 und 12 zusätzlich gasförmiges Stickstoffprodukt direkt vom Kopf der Hochdrucksäule
30 202 und/oder der Niederdrucksäule 203 abgezogen und im Hauptwärmetauscher 51 angewärmt werden.

Die in Figur 11 und Figur 12 dargestellten Verstärkungskreisläufe können mit jeder anderen der hier beschriebenen Kühl- und Verflüssigungseinheiten sowie mit jedem

anderen der in dieser Anmeldung dargestellten Destillationssäulen-Systeme kombiniert werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Erzeugung von Druckstickstoff durch Tieftemperaturzerlegung von Luft in einem Destillationssäulen-System, das eine Hochdrucksäule (202) und eine Niederdrucksäule (203) sowie einen Hochdrucksäulen-Kopfcondensator (204) und einen Niederdrucksäulen-Kopfcondensator (205) aufweist, die beide als
5 Kondensator-Verdampfer ausgebildet sind, wobei
- die Niederdrucksäule (203) den niedrigsten Betriebsdruck aller Trennsäulen des Destillationssäulen-Systems aufweist,
 - Einsatzluft in einem Hauptluftverdichter (9) auf einen Gesamtluftdruck verdichtet
10 und dabei ein Hochdruck-Gesamtluftstrom (11, 811) gebildet wird,
 - der Hauptluftverdichter (9) den einzigen mit externer Energie angetriebenen Gasverdichter darstellt, der in dem Verfahren verwendet wird,
 - ein erster Teilstrom (56) des Hochdruck-Gesamtluftstroms (11, 811)
15 arbeitsleistend entspannt (57) und in das Destillationssäulen-System eingeleitet (201) wird,
 - ein zweiter Teilstrom (52, 55) des Hochdruck-Gesamtluftstroms (11, 811) in einem Hauptwärmetauscher (51) abgekühlt und mindestens teilweise flüssig in das Destillationssäulen-System eingeleitet (206, 210) wird,
 - gasförmiger Kopfstickstoff (213) aus der Hochdrucksäule (202) in dem
20 Hochdrucksäulen-Kopfcondensator (204) mindestens teilweise verflüssigt wird und dabei ein erster flüssiger Stickstoffstrom (215) gebildet wird,
 - ein erster Teilstrom (216) des ersten flüssigen Stickstoffstroms (215) als Rücklaufflüssigkeit auf die Hochdrucksäule (202) aufgegeben wird,
 - gasförmiger Kopfstickstoff (230) aus der Niederdrucksäule (203) in dem
25 Niederdrucksäulen-Kopfcondensator (205) mindestens teilweise verflüssigt und dabei ein zweiter flüssiger Stickstoffstrom (232) gebildet wird,
 - ein erster Teilstrom (233) des zweiten flüssigen Stickstoffstroms (232) als Rücklaufflüssigkeit auf die Niederdrucksäule (203) aufgegeben wird,
 - ein Innenverdichtungsstickstoffstrom, der durch einen zweiten Teilstrom (319)
30 des ersten flüssigen Stickstoffstroms (215) und/oder einen zweiten Teilstrom (234, 334) des zweiten flüssigen Stickstoffstroms (232) gebildet wird, in flüssigem Zustand auf einen Produktdruck gebracht (235, 335a, 335b) wird, der höher als der Betriebsdruck der Hochdrucksäule (202) ist,

- der auf den Produktdruck gebrachte Innenverdichtungsstickstoffstrom (236, 336) im Hauptwärmetauscher (51) angewärmt und anschließend als gasförmiger Druckstickstoff-Produktstrom (60) unter dem Produktdruck abgezogen wird,
 - mindestens ein sauerstoffangereicherter Produktgasstrom (63, 64) aus dem Destillationssäulen-System abgezogen und im Hauptwärmetauscher (51) angewärmt wird und
 - alle sauerstoffangereicherten Produktgasströme (63, 64) in gasförmigem Zustand aus dem Destillationssäulen-System abgezogen werden,
- dadurch gekennzeichnet, dass**
- der Austrittsdruck des ersten Teilstroms (58) des Hochdruck-Gesamtluftstroms (11, 811) bei der arbeitsleistenden Entspannung (57) gleich dem Betriebsdruck der Hochdrucksäule oder höher ist,
 - die Einsatzluft in dem Hauptluftverdichter (9) auf einen Gesamtluftdruck verdichtet wird, der mindestens 5 bar über dem Betriebsdruck der Hochdrucksäule (202) liegt, und
 - der Innenverdichtungsstickstoffstrom (234, 236, 319, 334 336) in flüssigem Zustand auf einen Produktdruck (235, 335a, 335b) gebracht wird, der zwischen 15 und 100 bar liegt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein Teil (210) des zweiten Teils (206) der Einsatzluft als Kühlfluid in den Verdampfungsraum des Hochdrucksäulen-Kopfcondensators (204) eingeleitet wird, wobei insbesondere das gesamte Kühlfluid (210, 221) für den Hochdrucksäulen-Kopfcondensator (204) durch Einsatzluft gebildet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Hauptluftverdichter (9) eine einzige Antriebseinheit aufweist, die insbesondere durch eine Gasturbineneinheit (1), eine Dampfturbine, einen Gasmotor oder einen Dieselmotor gebildet wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein Teil des zweiten Teilstroms (52, 55) des Hochdruck-Gesamtluftstroms (11, 811) nach seiner Abkühlung im Hauptwärmetauscher (51) in einer Flüssigturbine arbeitsleistend entspannt wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass in dem Verdampfungsraum des Hochdrucksäulen-Kopfcondensators (204) erzeugter Dampf (212) in den Sumpfbereich der Niederdrucksäule (203) eingeleitet wird, wobei dieser Dampf insbesondere das gesamte im unteren Abschnitt der Niederdrucksäule aufsteigende Gas bildet.
5
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass ein dritter Teilstrom (217) des ersten flüssigen Stickstoffstroms (215) als Rücklauf auf die Niederdrucksäule aufgegeben wird und der Innenverdichtungsstickstoffstrom durch einen zweiten Teilstrom des zweiten flüssigen Stickstoffstroms gebildet wird.
10
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass der Innenverdichtungsstickstoffstrom (236, 336) durch einen zweiten Teilstrom (319) des ersten flüssigen Stickstoffstroms (215) und einen zweiten Teilstrom (334) des zweiten flüssigen Stickstoffstroms (232) gebildet wird, wobei diese beiden Teilströme getrennt voneinander auf den Produktdruck gebracht (335a, 335b) werden.
15
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass der erste Teilstrom (58) des Hochdruck-Gesamtluftstroms (11, 811) stromabwärts seiner arbeitsleistenden Entspannung (57) mindestens teilweise in die Hochdrucksäule (202) eingeleitet (201) wird.
20
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Sumpfflüssigkeit der Hochdrucksäule (202) in einem Hochdrucksäulen-Sumpfverdampfer (438) verdampft wird, der als Kondensator-Verdampfer ausgebildet ist, wobei in den Verflüssigungsraum des Hochdrucksäulen-Sumpfverdampfers (438) ein dritter Teil des Hochdruck-Gesamtluftstroms (11, 811) eingeleitet wird, der insbesondere mindestens zum Teil durch mindestens einen Teil des arbeitsleistend entspannten ersten Teilstroms (401) gebildet wird.
25
30
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass der zweite Teilstrom (52) des Hochdruck-Gesamtluftstroms (11, 811) in einem turbinengetriebenen Nachverdichter (53) auf einen zweiten Luftdruck nachverdichtet wird, der höher als der Gesamtluftdruck ist.
35

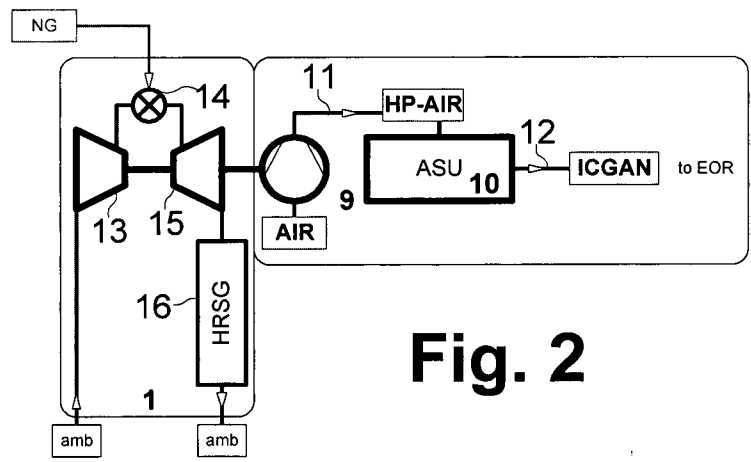
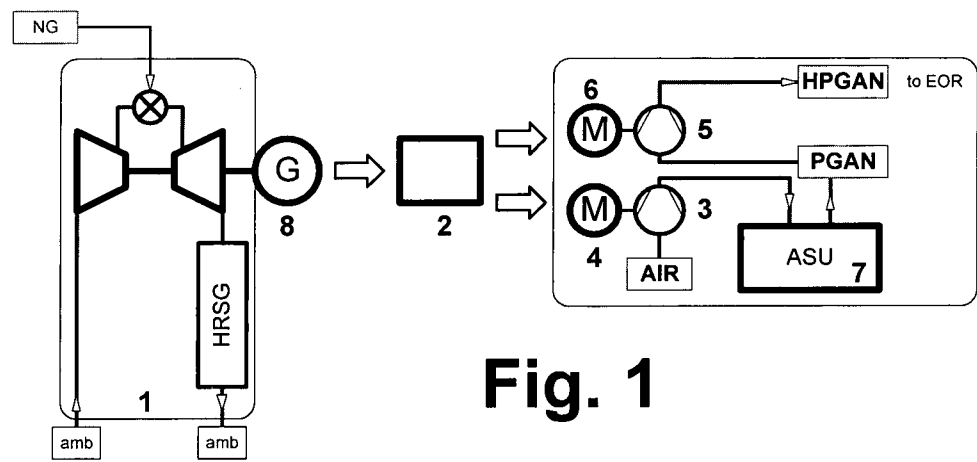
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass
mindestens ein Teil des zweiten Teilstroms (52) des Hochdruck-Gesamtluftstroms
(11, 811) in einer Entspannungsturbine entspannt und dadurch verflüssigt wird und
5 danach in das Destillationssäulen-System eingeleitet wird
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass
- ein Kreislaufstrom (1172) aus dem Verdampfungsraum des Hochdrucksäulen-
Kopfcondensators 204 abgezogen, in einem Kreislaufverdichter (1173), der
10 insbesondere als Kaltverdichter ausgebildet ist, verdichtet wird,
- der verdichtete Kreislaufstrom (1174) im Hauptwärmetauscher (51) abgekühlt
und
- der Hochdrucksäule (202) zugeführt wird.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass
- ein Kreislaufstrom (1272) aus dem oberen Bereich der Niederdrucksäule 203
abgezogen, in einem Kreislaufverdichter (1273), der insbesondere als
Kaltverdichter ausgebildet ist, verdichtet wird,
15 - der verdichtete Kreislaufstrom (1274) im Hauptwärmetauscher (51) abgekühlt
und
20 - dem Hochdrucksäulen-Kopfcondensator (204) zugeführt wird.
14. Vorrichtung zur Erzeugung von Druckstickstoff durch Tieftemperaturzerlegung von
Luft mit
25 - einem Destillationssäulen-System, das eine Hochdrucksäule und eine
Niederdrucksäule, sowie einen Hochdrucksäulen-Kopfcondensator (204) und
einen Niederdrucksäulen-Kopfcondensator (205) aufweist, die beide als
Kondensator-Verdampfer ausgebildet sind, wobei
- die Niederdrucksäule (203) im Betrieb der Anlage den niedrigsten Betriebsdruck
30 aller Trennsäulen des Destillationssäulen-Systems aufweist,
und mit
- einem Hauptluftverdichter (9) zum Erzeugen eines Hochdruck-Gesamtluftstroms
(11, 811) durch Verdichten von Einsatzluft auf einen Gesamtluftdruck, wobei -
der Hauptluftverdichter (9) den einzigen mit externer Energie angetriebenen
35 Gasverdichter der Vorrichtung darstellt,

- Mitteln zum arbeitsleistenden Entspannen (57) ein erster Teilstrom (56) des Hochdruck-Gesamtluftstroms (11, 811),
- Mitteln zum Einleiten (201) des arbeitsleistend entspannten ersten Teilstroms (58) in das Destillationssäulen-System,
- 5 - einen Hauptwärmetauscher (51) zum Abkühlen eines zweiten Teilstroms (52, 55) des Hochdruck-Gesamtluftstroms (11, 811),
- Mitteln zum Einleiten (206, 210) des abgekühlten zweiten Teilstroms mindestens teilweise in flüssigem Zustand in das Destillationssäulen-System,
- Mitteln zum Einleiten gasförmigen Kopfstickstoffs (213) aus der Hochdrucksäule (202) in den Verflüssigungsraum des Hochdrucksäulen-Kopfcondensators (204),
- 10 - Mitteln zum Entnehmen eines ersten flüssigen Stickstoffstroms (215) aus dem Verflüssigungsraum des Hochdrucksäulen-Kopfcondensators (204),
- Mitteln zum Einleiten eines ersten Teilstroms (216) des ersten flüssigen Stickstoffstroms (215) als Rücklaufflüssigkeit in die Hochdrucksäule (202),
- 15 - Mitteln zum Einleiten von Kopfstickstoff (230) aus der Niederdrucksäule (203) in den Verflüssigungsraum des Niederdrucksäulen-Kopfcondensators (205),
- Mitteln zum Entnehmen eines zweiten flüssigen Stickstoffstroms (232) aus dem Verflüssigungsraum des Niederdrucksäulen-Kopfcondensators (205),
- 20 - Mitteln zum Einleiten eines ersten Teilstroms (233) des zweiten flüssigen Stickstoffstroms (232) als Rücklaufflüssigkeit in die Niederdrucksäule (203),
- Mitteln zur Bildung eines Innenverdichtungsstickstoffstroms durch einen zweiten Teilstrom (319) des ersten flüssigen Stickstoffstroms (215) und/oder einen zweiten Teilstrom (234, 334) des zweiten flüssigen Stickstoffstroms (232),
- 25 - Mitteln (235, 335a, 335b) zum Erhöhen des Drucks des Innenverdichtungsstickstoffstroms in flüssigem Zustand auf einen Produktdruck, der höher als der Betriebsdruck der Hochdrucksäule (202) ist,
- Mitteln zum Anwärmen des auf den Produktdruck gebrachten Innenverdichtungsstickstoffstroms (236, 336) im Hauptwärmetauscher (51)
- 30 - Mitteln zum Abziehen des angewärmten Innenverdichtungsstickstoffstroms als gasförmiger Druckstickstoff-Produktstrom (60) unter dem Produktdruck,
- Mitteln zum Abziehen mindestens eines sauerstoffangereicherten Produktgasstroms (63, 64) aus dem Destillationssäulen-System,
- Mitteln zum Anwärmen des sauerstoffangereicherten Produktgasstroms (63, 64)
- 35 im Hauptwärmetauscher (51) und mit

- Mitteln zum Abziehen aller sauerstoffangereicherten Produktgasströme (63, 64) in gasförmigem Zustand aus dem Destillationssäulen-System,

dadurch gekennzeichnet, dass

- der Austritt der Mittel zum arbeitsleistenden Entspannen (57) in
5 Strömungsverbindung (58. 201, 442) mit der Hochdrucksäule (202) steht,
 - der Hauptluftverdichter (9) auf die Verdichtung der Einsatzluft auf einen Gesamtluftdruck ausgelegt ist, der mindestens 5 bar über dem Betriebsdruck der Hochdrucksäule (202) liegt, und
 - die Mittel (235, 335a, 335b) zum Erhöhen des Drucks des
10 Innenverdichtungsstickstoffstroms (234, 236, 319, 334 336) in flüssigem Zustand zur Druckerhöhung auf einen Produktdruck ausgelegt sind, der zwischen 20 und 100 bar liegt.
15. Vorrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung
15 keine Mittel zum Abziehen eines flüssigen sauerstoffangereicherten Produktstroms aus dem Destillationssäulen-System aufweist und insbesondere keine Pumpe, um einen flüssigen sauerstoffangereicherten Strom auf einen erhöhten Druck zu bringen.



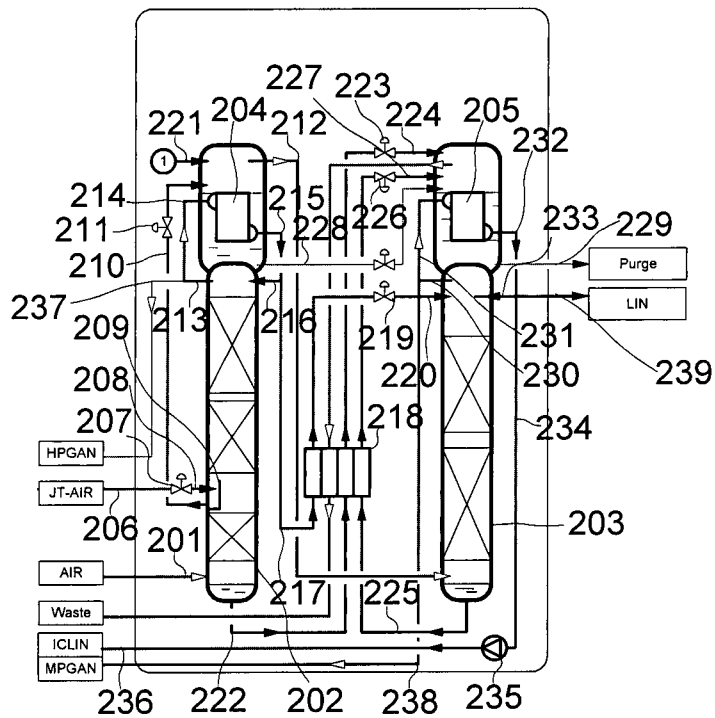


Fig. 3

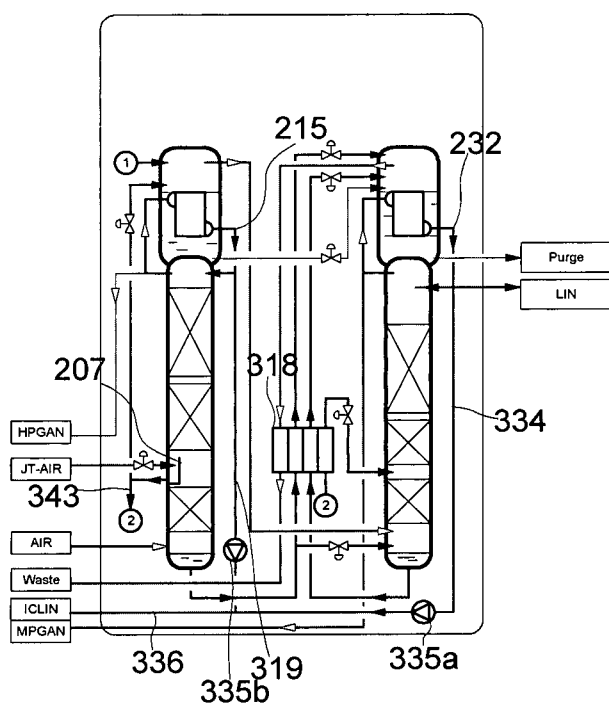


Fig. 4

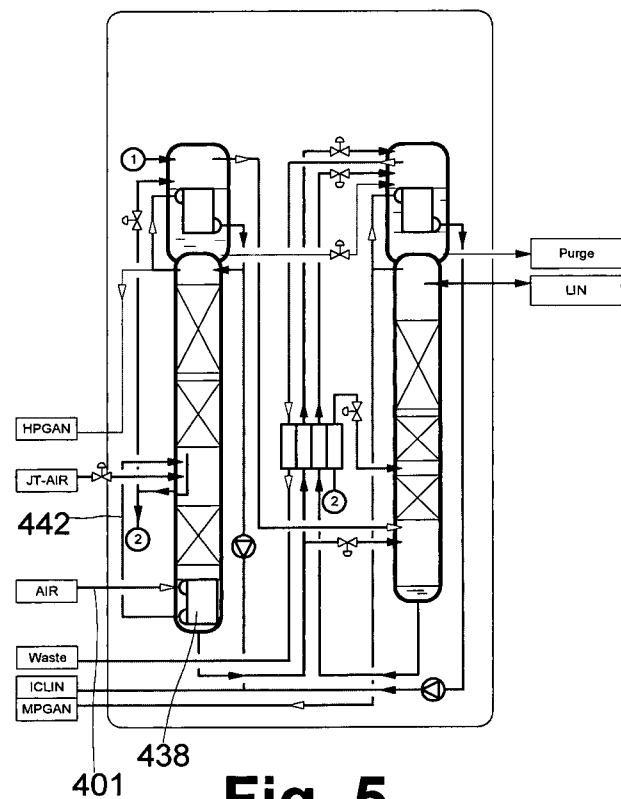


Fig. 5

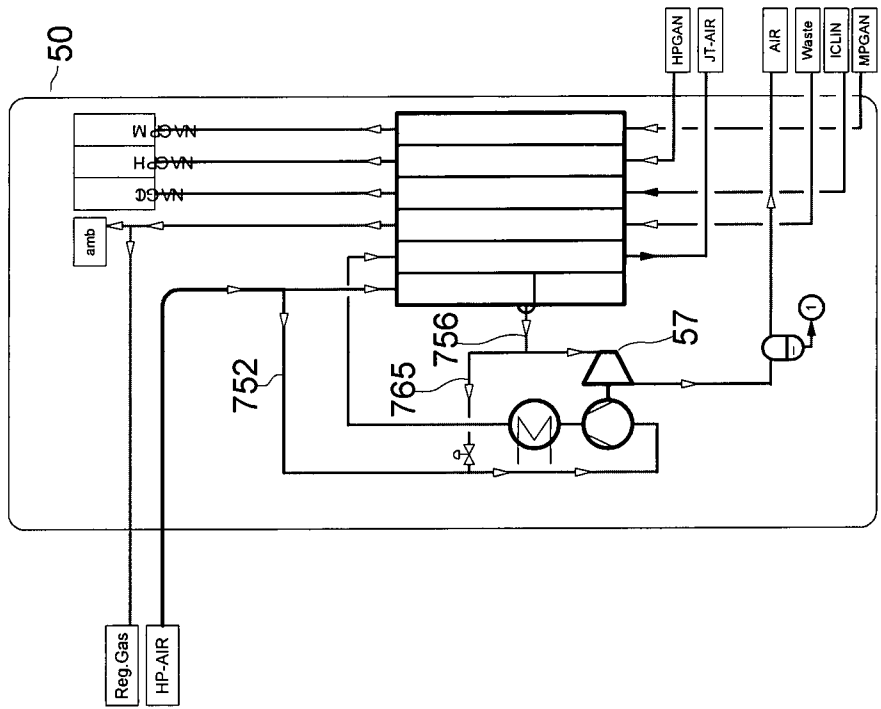


Fig. 6

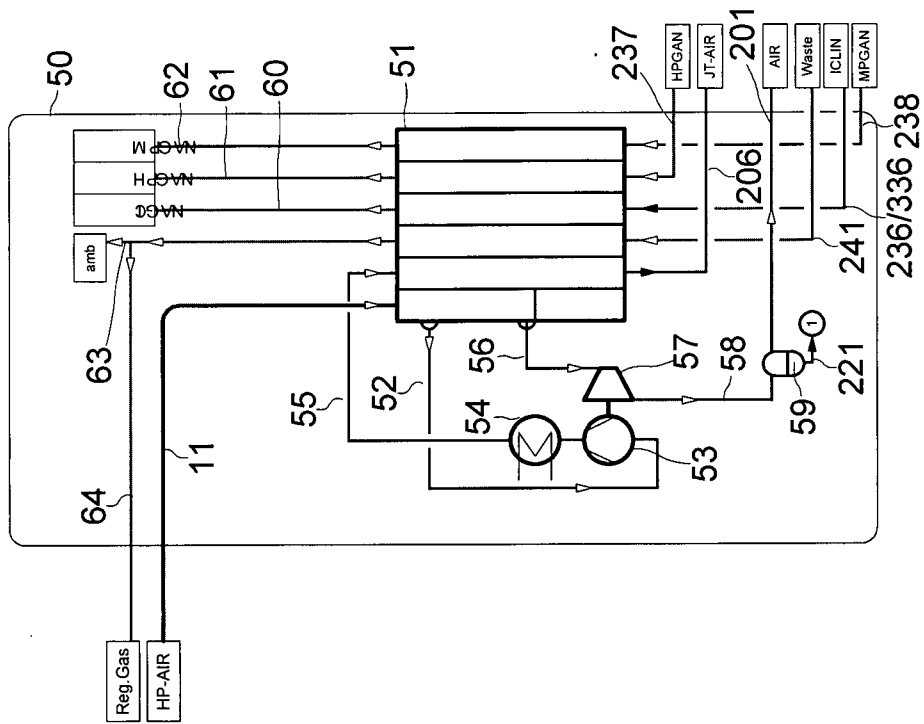


Fig. 7

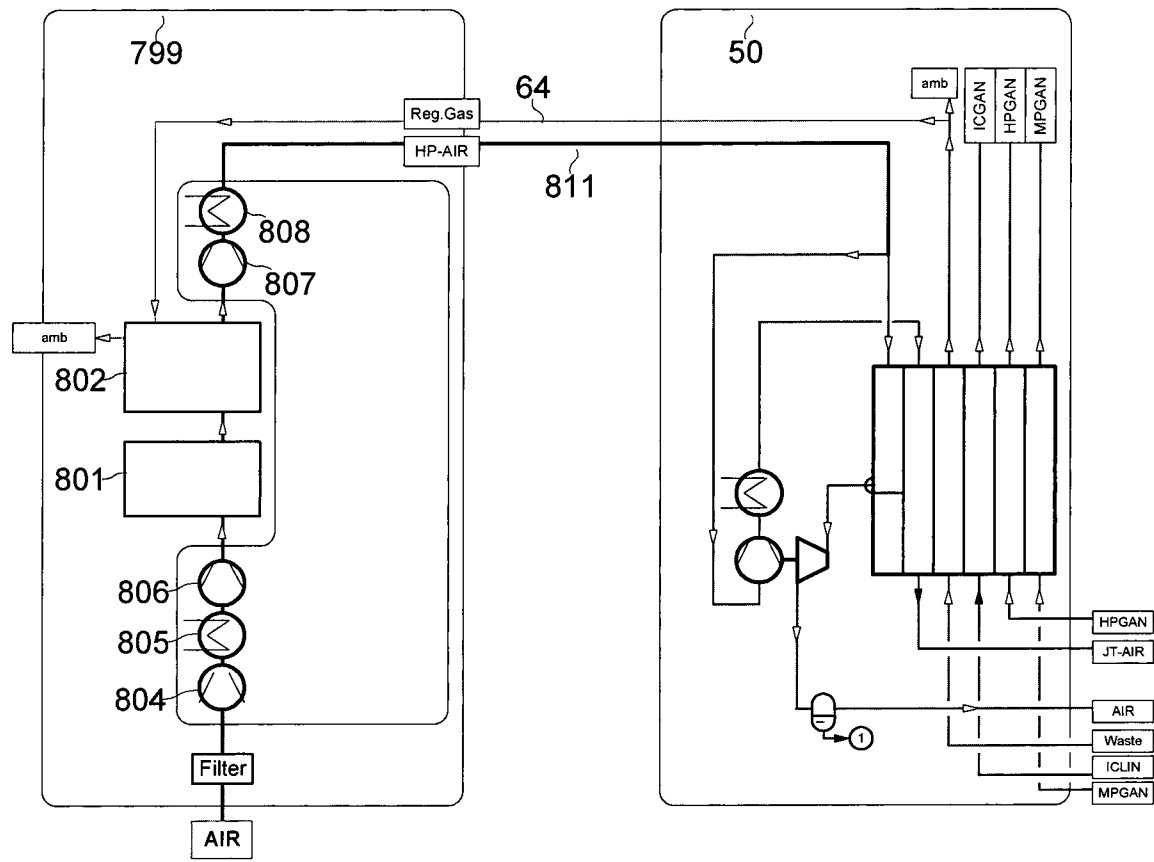


Fig. 8

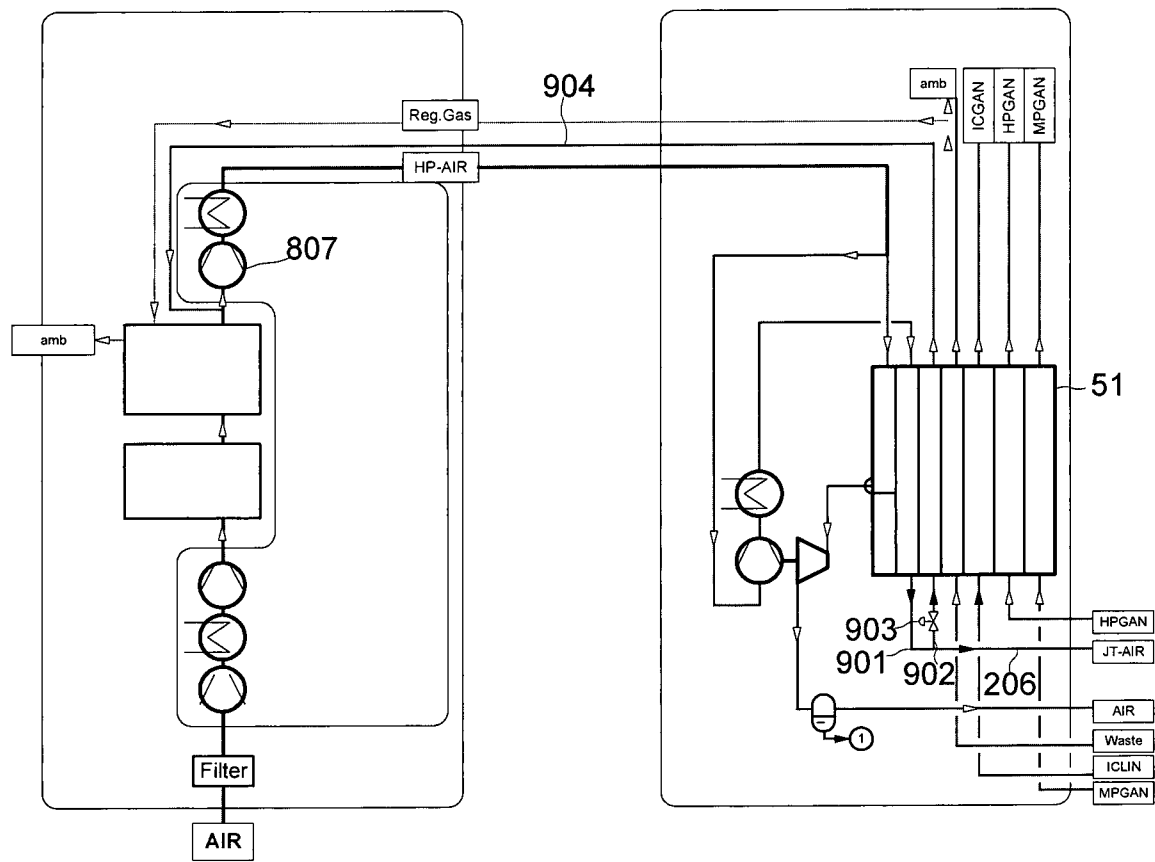


Fig. 9

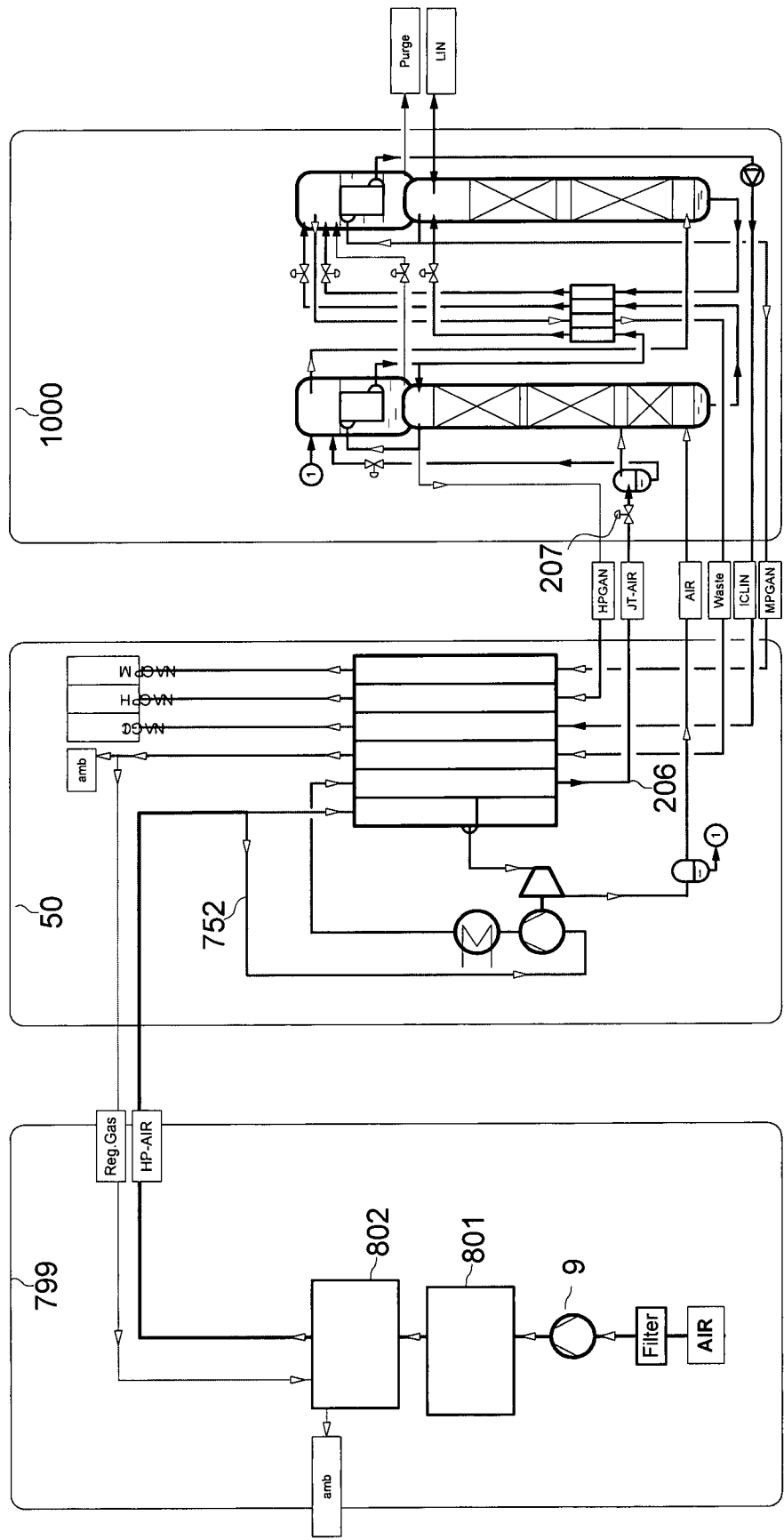


Fig. 10

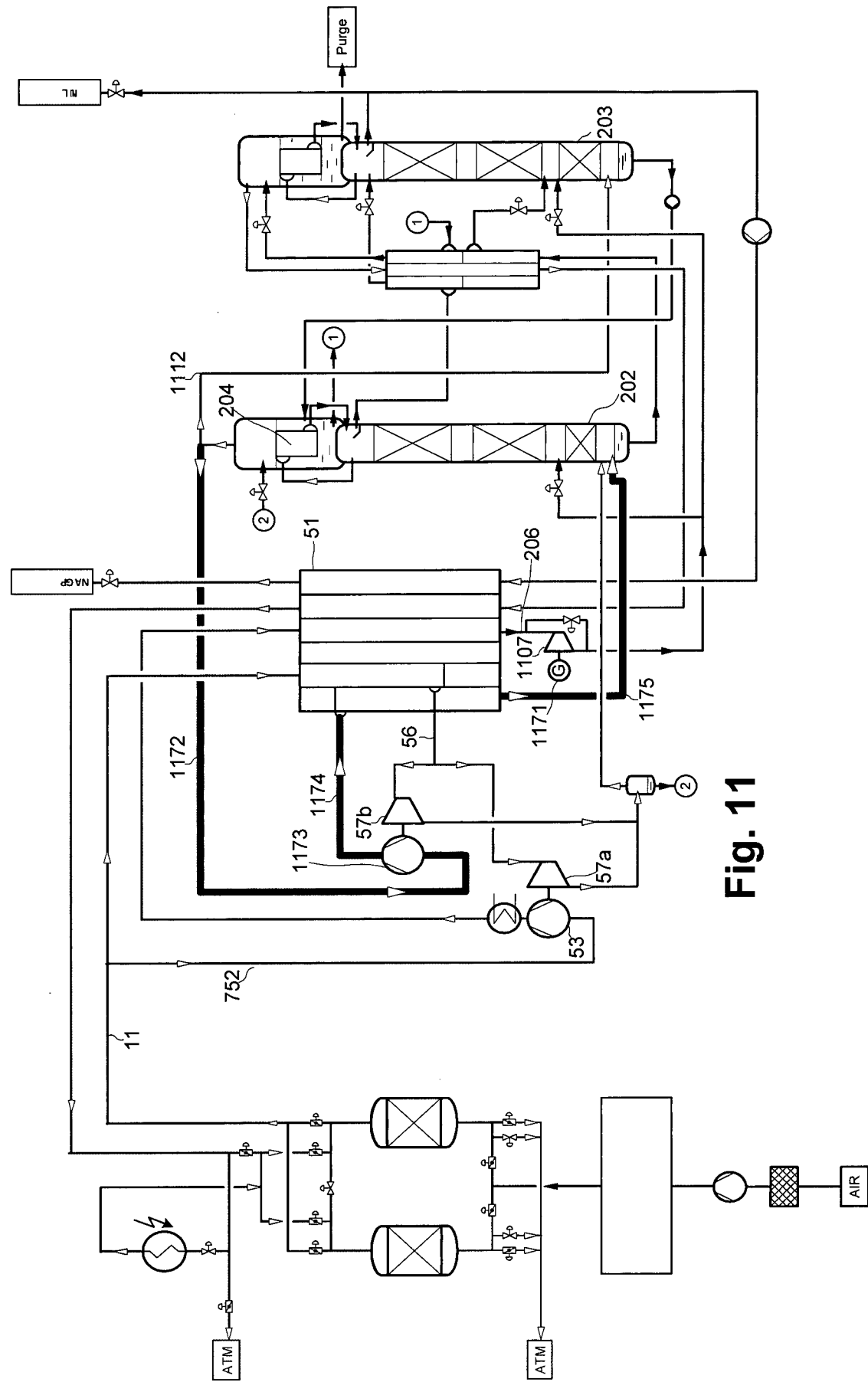


Fig. 11

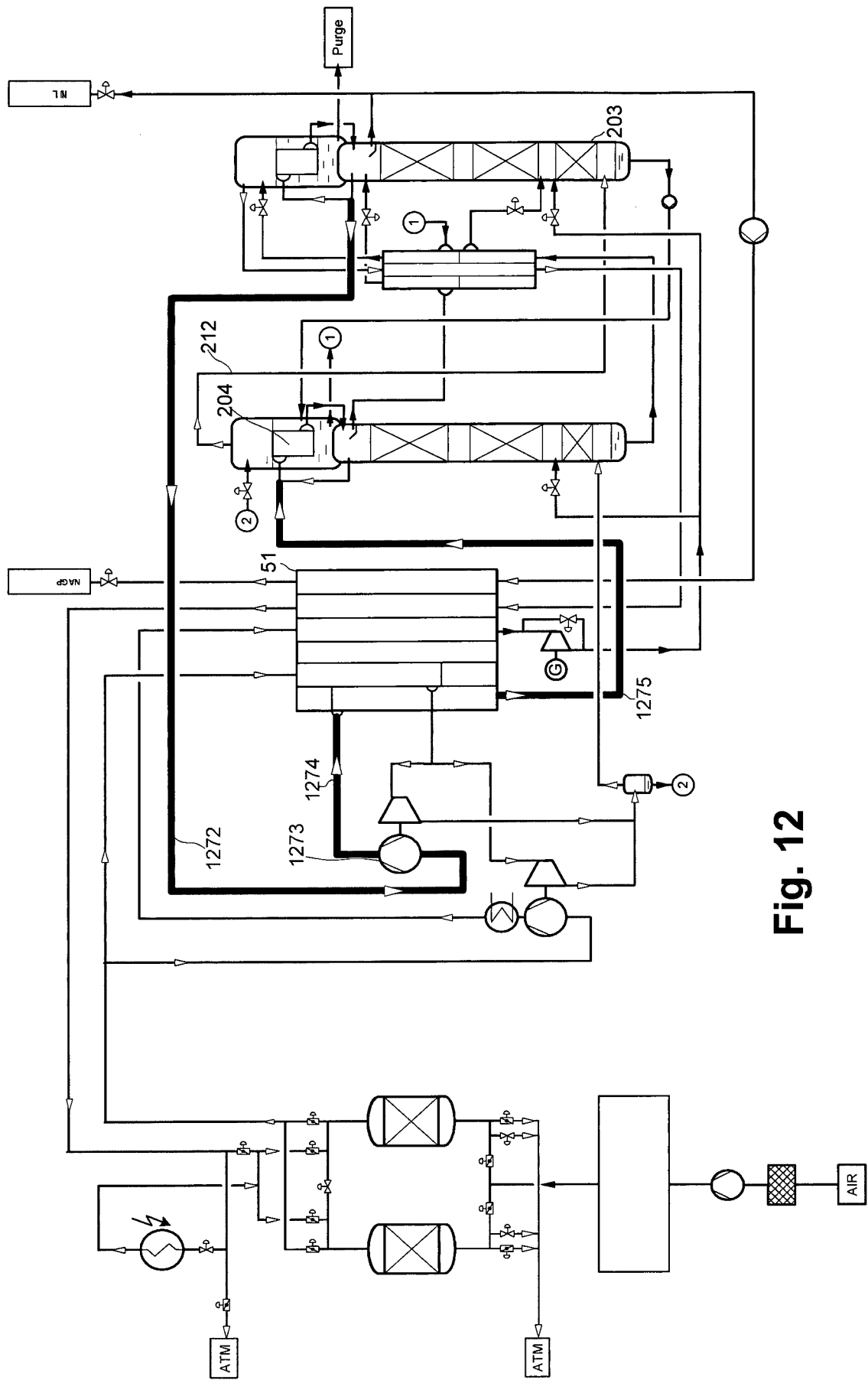


Fig. 12