



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

(21)(22) Заявка: 2013100007/05, 09.01.2013

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
09.01.2013

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 09.01.2013

(43) Дата публикации заявки: 20.07.2014 Бюл. № 14

(45) Опубликовано: 20.09.2014 Бюл. № 26

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2263861 C1, 10.11.2005. RU 2180871 C1, 08.06.2001. SU 1620117 A1, 15.01.1991. US 7294172 B2, 13.11.2007; . US 6176897 B1, 23.01.2001.

Адрес для переписки:

117218, Москва, ул. Б. Черемушкинская, 20, к. 4,  
кв. 346, Пат. поверенному Выгодину Б.А.

(72) Автор(ы):

**Бондаренко Виталий Леонидович (RU),  
Симоненко Юрий Михайлович (UA)**

(73) Патентообладатель(и):

**Бондаренко Виталий Леонидович (RU)**

**(54) УСТАНОВКА ДЛЯ МЕМБРАННОГО РАЗДЕЛЕНИЯ НЕОНО-ГЕЛИЕВОЙ СМЕСИ**

(57) Реферат:

Изобретение относится к области селективного разделения многокомпонентных газовых смесей и может быть использовано для разделения па компоненты бедной неон-гелиевой смеси отдувочного газа, получаемой в виде побочного продукта в ректификационных установках, производящих чистый неон. Установка включает блок предварительного разделения неон-гелиевой смеси с ректификационной колонной, сепаратором отдувочного газа и линией подачи неон-гелиевой смеси, мембранный модуль с полостями высокого и низкого давления, разделенными селективным слоем, каналом поступления исходной неон-гелиевой смеси в мембранный модуль, каналом вывода обогащенного неона из полости высокого давления мембранного модуля, соединенного с газоанализатором, содержащим контур анализируемого газа, контур поверочной смеси и разъем выходного сигнала, и с регулятором расхода обогащенного неона мембранного модуля, снабженного исполнительным

механизмом, и каналом вывода обогащенного гелия из полости низкого давления мембранного модуля, подключенным к мембранному компрессору, а также блок переключающихся адсорберов, имеющий на выходе гелиевый и неоновый каналы, причем мембранный компрессор включает первую и вторую ступени, каждая из которых содержит всасывающую и нагнетательную линии и снабжена соответствующей байпасной веткой, при этом байпасная ветка первой ступени мембранного компрессора соединяет нагнетательную линию первой ступени мембранного компрессора с каналом поступления исходной неон-гелиевой смеси в мембранный модуль, байпасная ветка второй ступени мембранного компрессора соединяет нагнетательную линию второй ступени мембранного компрессора с всасывающей линией этой же ступени мембранного компрессора, при этом байпасная ветка, по крайней мере, одной ступени мембранного компрессора снабжена редуктором, причем блок переключающихся

адсорберов размещен между нагнетательной линией первой ступени мембранного компрессора и всасывающей линией второй ступени

мембранного компрессора. Изобретение позволяет повысить производительность и экономичность. 7 з.п. ф-лы, 4 ил., 1 табл.

RU 2 5 2 8 7 2 7 C 2

RU 2 5 2 8 7 2 7 C 2



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.  
*B01D 63/00* (2006.01)  
*F25J 3/04* (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**(21)(22) Application: **2013100007/05, 09.01.2013**(24) Effective date for property rights:  
**09.01.2013**

Priority:

(22) Date of filing: **09.01.2013**(43) Application published: **20.07.2014** Bull. № 14(45) Date of publication: **20.09.2014** Bull. № 26

Mail address:

**117218, Moskva, ul. B. Cheremushkinskaja, 20, k.  
4, kv. 346, Pat. poverennomu Vygodinu B.A.**

(72) Inventor(s):

**Bondarenko Vitalij Leonidovich (RU),  
Simonenko Jurij Mikhajlovich (UA)**

(73) Proprietor(s):

**Bondarenko Vitalij Leonidovich (RU)**(54) **MEMBRANE SEPARATOR OF NEON-HELIUM MIX**

(57) Abstract:

FIELD: process engineering.

SUBSTANCE: invention relates to selective separation of multicomponent gas mixes and can be used for separation of lean neon-helium mix of stripping gas. Proposed plant comprises pre-separator of neon-helium mix with rectifier, stripped gas separator and neon-helium mix feed line. It includes membrane module with high- and low-pressure chambers separated by selective layers. There is the channel to feed initial neon-helium mix to membrane module. Channel of enriched neon discharge from membrane module high-pressure chamber connected with gas analyser including analysed gas circuit. Verification mix channel and output signal connector are connected with enriched neon of membrane module equipped with actuator. Channel to discharge enriched helium from low-pressure of membrane module connected to membrane

compressor. Besides, there is the unit of changing adsorbers with helium and neon channels at the outlet. Note that membrane compressor comprises first and second stages, each including suction and pressure lines and appropriate bypass line. Note here that first stage bypass line communicated pressure line of first stage with initial neon-helium mix feed to membrane module. Second stage bypass line communicates compressor second stage pressure line with suction line of the same stage. Note here that bypass line of at least one stage of membrane compressor is equipped with pressure control line. Note here that the unit of changeover adsorbers is arranged between pressure line of said first stage and suction line of said second stage.

EFFECT: higher efficiency, lower costs.

8 cl, 4 dwg, 1 tbl

Изобретение относится к области селективного разделения многокомпонентных газовых смесей и может быть использовано для разделения на компоненты бедной неона-гелиевой смеси (отдувочного газа), получаемой в виде побочного продукта в ректификационных установках, производящих чистый неон.

5 Известна установка для предварительного разделения неона-гелиевой смеси с природным соотношением неона и гелия 3:1 ( $y_{NE}=75\%$ ) для получения чистого неона ( $y_{NE}=99,999\%$ ) и отдувочного газа  $y_{NE}=20\%$  (остальное - гелий), в которой отдувочный поток образуется в сепараторе, устанавливаемом на входе в ректификационную колонну с целью снижения доли гелия в подаваемой на разделение смеси [Архаров А.М. Пути  
10 повышения коэффициента извлечения неона при разделении неон-гелиевой смеси/ А.М. Архаров, В.Л. Бондаренко, С.Н. Пуртов и др. // Вестник МГТУ. Сер. Машиностроение. Спецвыпуск «Холодильная, криогенная техника, системы кондиционирования и жизнеобеспечения». - 1998. - С.44-53].

15 Недостатком установки является относительно малая производительность, обусловленная низким выходом неона.

Для повышения степени извлечения неона путем уменьшения его содержания в отдувочном газе до ( $y_{NE}=5\%$ ) предлагается понизить температуру фазового равновесия в сепараторе за счет струйных безмашинных аппаратов -эжекторов и волновых  
20 криогенераторов (ВКГ) [Архаров А.М. Волновые криогенераторы в системах очистки Ne-He смеси / А.М. Архаров, В.Л. Бондаренко, Ю.М. Симоненко и др. // Вестник МГТУ. Сер. Машиностроение. Спецвыпуск «Холодильная, криогенная техника, системы кондиционирования и жизнеобеспечения». - 2002. - С.4-9].

25 Недостатком этих технических решений является высокая сложность, поскольку модернизация устройства путем включения в схему ВКГ предполагает серьезное вмешательство в конструкцию низкотемпературного блока. Кроме того, изготовление маломасштабных струйных аппаратов связано со значительными технологическими проблемами. Определяющим размером эжекторов и ВКГ является критическое сечение соплового ввода  $F_C$ . При расширении двухкомпонентной смеси этот параметр  
30 определяется соотношением [Архаров А.М. Волновые криогенераторы в системах очистки Ne-He смеси / А.М. Архаров, В.Л. Бондаренко, Ю.М. Симоненко и др. // Вестник МГТУ. Сер. Машиностроение. Спецвыпуск «Холодильная, криогенная техника, системы кондиционирования и жизнеобеспечения». - 2002. - С.4-9]

$$35 F_C = \frac{V_B \cdot P_B \cdot \sqrt{T_C \cdot \frac{y_{NE} \cdot M_{NE} + (1 - y_{NE}) \cdot M_{HE}}{R_0}}}{10^6 \cdot P_C \cdot T_B \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot k}{k+1} \left( \frac{2}{k+1} \right)^{\frac{2}{k-1}}}}, \text{мм}^2 \quad (1)$$

40 где  $V_B$  - объемный расход компрессора при параметрах всасывания,  $36 \text{ нм}^3/\text{ч}=0,01 \text{ нм}^3/\text{с}$ ;  $T_C=30 \text{ К}$  и  $P_C=2500000 \text{ Па}$  - температура и давление на входе в сопло (на выходе из змеевика-испарителя куба колонны);  $T_B=293 \text{ К}$  и  $P_B=100000 \text{ Па}$  - нормальные температура и давление (близкие к параметрам всасывания компрессора);  $y_{NE}=0,75$  -  
45 объемная доля неона в смеси;  $M_{NE}$  и  $M_{HE}$  - молекулярные массы неона и гелия;  $R_0=8314 \text{ Дж}/(\text{кмоль} \cdot \text{К})$  - универсальная газовая постоянная;  $k=1,666$  - показатель адиабаты Ne-He смеси.

Для частных условий работы и заданном объемном расходе компрессора сечение соплового ввода составляет

$$F_c = \frac{10^6 \cdot 0,01 \cdot 100000 \cdot \sqrt{30 \cdot \frac{0,75 \cdot 20 + 0,25 \cdot 4}{8314}}}{2500000 \cdot 293 \cdot \sqrt{\frac{3,332}{2,666} \left(\frac{2}{2,666}\right)^3}} = \frac{10^9 \cdot \sqrt{0,05773}}{10^9 \cdot 0,7325 \cdot \sqrt{1,25 \cdot 0,42}} = \frac{0,24}{0,531} = 0,45 \text{ мм}^2$$

т.е. меньше менее  $0,5 \text{ мм}^2$ .

Такая миниатюрность деталей проточной части существенно затрудняет изготовление струйных аппаратов с регулируемым сопловым вводом, что, в свою очередь, усложняет согласование их расходных характеристик с эксплуатационными параметрами ректификационного устройства.

Известна также установка для разделения неона-гелиевой смеси, включающая компрессор с линией всасывания, основной теплообменник с патрубками входа и выхода отдувочного газа, низкотемпературный теплообменник, сепаратор с линиями выхода отдувочного газа и жидкой фракции, ректификационную колонну с испарителем в кубе, переключающиеся адсорберы с патрубками входа и выхода газа, причем патрубков входа газа каждого адсорбера соединен линиями, снабженными клапанами, с линией выхода отдувочного газа из сепаратора после низкотемпературного теплообменника и с линией всасывания компрессора, патрубков выхода газа каждого адсорбера соединен линиями, снабженными клапанами, с патрубком входа отдувочного газа в основной теплообменник и с патрубком выхода отдувочного газа из основного теплообменника, а испаритель колонны имеет со стороны кипения капиллярно-пористое покрытие [RU №2263861, C1, F25J 3/02, 10.11.2005].

Недостатком этой установки является относительно низкая надежность, обусловленная тем, что в переключающиеся адсорберы отдувочный газ подается непосредственно из сепаратора. В этом газе обычно содержится до 20% неона, который должны поглощать переключающиеся адсорберы. Из-за ограниченного времени защитного действия адсорберов на богатой неона смеси сокращается время цикла. Вследствие частых переключений вентиля, коммутирующих адсорберы, в условиях криогенных температур повышается вероятность отказов арматуры. Частые переключения адсорберов - причина повышенных затрат на криогенное обеспечение, так как каждый цикл работы сопровождается регенерацией сорбента, которая предполагает нагрев адсорберов и их последующее охлаждение.

Наиболее близким по технической сущности к предложенному является устройство для мембранного многостадийного разделения неона-гелиевой смеси, включающее мембранный модуль, содержащий газоразделительный блок в виде набора капилляров - мембран из кварцевого стекла, входной патрубков и первый и второй выходные патрубки, термостат для подогрева мембранного модуля, а также первый канал для поступления исходной смеси из первого баллона под давлением в мембранный модуль через первый вентиль, муфельную печь и входной патрубков мембранного модуля, второй канал для поступления исходной смеси из первого баллона в хроматограф через второй вентиль, третий канал для поступления смеси, обогащенной неонам, из мембранного модуля во второй баллон через первый выходной патрубков мембранного модуля и третий вентиль, четвертый канал для поступления смеси, обогащенной неонам, из второго баллона в хроматограф через третий и четвертый вентили, пятый канал для поступления смеси, обогащенной неонам, из второго баллона в мембранный модуль через пятый вентиль, мембранный компрессор, шестой вентиль, муфельную печь и

входной патрубков мембранного модуля, шестой канал для поступления обогащенного неона из мембранного модуля в третий баллон через седьмой вентиль, седьмой канал для поступления обогащенного неона из третьего баллона в хроматограф через седьмой и четвертый вентили, восьмой канал для поступления смеси, обогащенной неонам, из третьего баллона в мембранный модуль через восьмой вентиль, мембранный компрессор, шестой вентиль, первый расходомер, муфельную печь и входной патрубок, девятый канал для вывода обогащенного неона из устройства через седьмой вентиль и девятый вентиль, десятый канал для поступления обогащенного гелия из мембранного модуля в хроматограф через второй выходной патрубок мембранного модуля, десятый вентиль, вакуум-насос, двенадцатый вентиль или через одиннадцатый и двенадцатый вентили, одиннадцатый канал для вывода обогащенного гелия из устройства через второй выходной патрубок мембранного модуля, десятый вентиль, вакуум-насос, второй расходомер или через одиннадцатый вентиль и второй расходомер [RU №2180871, C1, B01D 63/00, B01D 63/06, 27.03.2002].

Это устройство является наиболее близким к заявляемому техническому решению по своей технической сущности и принято в качестве прототипа. В устройстве-прототипе первая стадия мембранного разделения достигается поступлением исходной смеси через мембранный модуль из первого баллона во второй. На второй стадии обогащенная неонам смесь при помощи компрессора из второго баллона поступает через тот же мембранный модуль в третий баллон. После наполнения третьего баллона смесь еще раз подается компрессором через тот же мембранный модуль в канал для вывода обогащенного неона из устройства.

Наиболее близкое техническое решение имеет ряд эксплуатационно-технических недостатков, в частности:

- относительно низкая производительность, вызванная эпизодичностью работы и относительно низким давлением во втором и третьем баллонах при наполнении их обогащенной смесью, поскольку баллоны подключены непосредственно к каналу поступления смеси из мембранного модуля;
- нестабильность работы по показателям расхода и концентрации, вызванной ростом противодействия по мере наполнения баллонов;
- относительно высокие потери обогащенной смеси, что связано с многократным вакуумированием баллонов перед их наполнением.

Задачей, решаемой в предложенном устройстве, является повышение производительности и экономичности.

Требуемый технический результат заключается в усовершенствовании конструкции установки для повышения ее производительности и экономичности путем обеспечения непрерывного многостадийного разделения неона-гелиевой смеси при стабильных концентрациях получаемых потоков.

Требуемый технический результат достигается тем, что в установке для мембранного разделения неона-гелиевой смеси, включающей блок предварительного разделения неона-гелиевой смеси с ректификационной колонной, сепаратором отдувочного газа и линией подачи неона-гелиевой смеси, мембранный модуль с полостями высокого и низкого давления, разделенными селективным слоем, каналом поступления исходной неона-гелиевой смеси в мембранный модуль, каналом вывода обогащенного неона из полости высокого давления мембранного модуля, соединенного с газоанализатором, содержащим контур анализируемого газа, контур поверочной смеси и разъем выходного сигнала, и с регулятором расхода обогащенного неона мембранного модуля, снабженного исполнительным механизмом, и каналом вывода обогащенного гелия из

полости низкого давления мембранного модуля, подключенным к мембранному компрессору, а также блок переключающихся адсорберов, имеющий на выходе гелиевый и неоновый каналы, мембранный компрессор включает первую и вторую ступени, каждая из которых содержит всасывающую и нагнетательную линии и снабжена соответствующей байпасной веткой, причем байпасная ветка первой ступени мембранного компрессора соединяет нагнетательную линию первой ступени мембранного компрессора с каналом поступления исходной неоно-гелиевой смеси в мембранный модуль, байпасная ветка второй ступени мембранного компрессора соединяет нагнетательную линию второй ступени мембранного компрессора с всасывающей линией этой же ступени мембранного компрессора, при этом байпасная ветка, по крайней мере, одной ступени мембранного компрессора снабжена редуктором, причем блок переключающихся адсорберов размещен между нагнетательной линией первой ступени мембранного компрессора и всасывающей линией второй ступени мембранного компрессора.

Кроме того, требуемый технический результат достигается тем, что к неоновому каналу блока переключающихся адсорберов подключен газгольдер.

Кроме того, требуемый технический результат достигается тем, что неоновый канал блока переключающихся адсорберов соединен с каналом вывода обогащенного неона из полости высокого давления мембранного модуля.

Кроме того, требуемый технический результат достигается тем, что контур анализируемого газа газоанализатора соединен с каналом вывода обогащенного неона из полости высокого давления мембранного модуля.

Кроме того, требуемый технический результат достигается тем, что контур анализируемого газа газоанализатора соединен с неоновым каналом блока переключающихся адсорберов.

Кроме того, требуемый технический результат достигается тем, что разъем выходного сигнала газоанализатора соединен через усилитель с исполнительным механизмом регулятора расхода обогащенного неона мембранного модуля.

Кроме того, требуемый технический результат достигается тем, что канал поступления исходной неоно-гелиевой смеси в мембранный модуль связан с сепаратором отдувочного газа блока предварительного разделения неоно-гелиевой смеси, а линия подачи неоно-гелиевой смеси блока предварительного разделения неоно-гелиевой смеси подключена к регулятору расхода обогащенного неона мембранного модуля.

Кроме того, требуемый технический результат достигается тем, что контур поверочной смеси газоанализатора соединен с линией подачи блока предварительного разделения неоно-гелиевой смеси.

на фиг.1 - технологическая схема установки для мембранного разделения неоно-гелиевой смеси;

на фиг.2 - электрическая схема газоанализатора;

на фиг.3 - рабочая характеристика газоанализатора;

на фиг.4 - технологическая схема включения блока переключающихся адсорберов между первой и второй ступенями компрессора.

В таблице 1 - объемные концентрации потоков, а также расходы смесей и расходы по отдельным компонентам в характерных точках схемы установки для мембранного разделения неоно-гелиевой смеси для одного из эксплуатационных режимов.

Установка для мембранного разделения неоно-гелиевой смеси (фиг.1) содержит блок 1 предварительного разделения неоно-гелиевой смеси с ректификационной колонной 2, сепаратором 3 отдувочного газа и линией 4 подачи неоно-гелиевой смеси, а также

5 мембранный модуль 5. В свою очередь, мембранный модуль 5 содержит полости высокого 6 и низкого 7 давления, которые разделены селективным слоем 8, а также канал 9 поступления исходной неона-гелиевой смеси и канал 10 вывода обогащенного неона из полости 6 высокого давления мембранного модуля 5. Канал 10 вывода обогащенного неона подключен к газоанализатору 11, который имеет контур 12 анализируемого газа, контур 13 поверочной смеси и разъем 14 выходного сигнала. Канал 10 вывода обогащенного неона соединен с регулятором 15 расхода обогащенного неона мембранного модуля 5, причем регулятор 15 расхода снабжен исполнительным механизмом 16. Мембранный модуль 5 содержит также канал 17 вывода обогащенного гелия из полости 7 низкого давления мембранного модуля 5, который подключен к мембранному компрессору 18. В состав установки также входит блок переключающихся адсорберов 19, имеющий на выходе гелиевый 20 и неоновый 21 каналы.

15 Мембранный компрессор 18 имеет первую 22 и вторую 23 ступени, которые выполнены с общим механическим приводом в едином корпусе и с единой системой управления (на чертеже не показаны). Первая ступень 22 мембранного компрессора имеет соответствующие ей всасывающую 24 и нагнетательную 25 линии, к которым подключена байпасная ветка 26 первой ступени, а вторая ступень 23 мембранного компрессора имеет соответствующие ей всасывающую 27 и нагнетательную 28 линии, к которым подключена байпасная ветка 29 второй ступени. Причем байпасная ветка 26 соединяет нагнетательную линию 25 первой ступени мембранного компрессора 18 с каналом 9 поступления исходной неона-гелиевой смеси в мембранный модуль 5, а байпасная ветка 29 второй ступени 23 мембранного компрессора 18 соединяет нагнетательную линию 28 второй ступени 23 мембранного компрессора 18 с всасывающей линией 27 этой же ступени. Байпасная ветка 26 снабжена редуктором 30 и дросселем 31, а байпасная ветка 29 - редуктором 32 и дросселем 33.

30 Нагнетательная линия 28 второй ступени связана также с баллонами 34 для сбора чистого гелия, получаемого в блоке 19 переключающихся адсорберов. Этот блок включен между нагнетательной линией 25 первой ступени 22 и всасывающей линией 27 второй ступени 23 мембранного компрессора 18. К неоновому каналу 21 блока 19 переключающихся адсорберов подключен газгольдер 35 (фиг.2). Неоновый канал 21 блока 19 переключающихся адсорберов через редуктор 36 и вентиль 37 связан с каналом 10 вывода обогащенного неона из полости 6 высокого давления мембранного модуля 5.

35 Контур 12 анализируемого газа газоанализатора 11 через редуктор 38 в точке А1 подключен к каналу 10 вывода обогащенного неона из полости 6 высокого давления мембранного модуля 5.

Разъем 14 выходного сигнала газоанализатора 11 соединен с программируемым милливольтметром 39 и через усилитель 40 - с исполнительным механизмом 16 регулятора 15 расхода обогащенного неона мембранного модуля 5.

40 Канал 9 поступления исходной неона-гелиевой смеси в мембранный модуль 5 связан линией 41 отдувочного газа с сепаратором 3 блока 1 предварительного разделения неона-гелиевой смеси. Линия подачи 4 неона-гелиевой смеси напрямую подключена к регулятору 15 расхода обогащенного неона мембранного модуля 5, а через редуктор 42 подключена к контуру 13 поверочной смеси газоанализатора 11.

45 В состав блока 1 предварительного разделения неона-гелиевой смеси также входят циркуляционный компрессор 43, основной рекуперативный теплообменник 44, азотная ванна 45, низкотемпературный рекуперативный теплообменник 46 (фиг.1). К нижней части сепаратора 3 блока 1 предварительного разделения неона-гелиевой смеси



подключена линия 47 жидкой фракции. Верхняя часть ректификационной колонны через дроссельный вентиль 48 подключена к линии 47 жидкой фракции сепаратора 3, а нижняя (кубовая) часть ректификационной колонны 2 снабжена испарителем 49.

Газоанализатор 11 (фиг.2) содержит первый 50, второй, 51, третий 52 и четвертый 53 резисторы, соединенные в виде мостовой схемы. При этом первый 50 и второй 51 резисторы являются чувствительными элементами и связаны, соответственно, с контуром 12 анализируемого газа и контуром 13 поверочной смеси. Точки а и с мостовой схемы газоанализатора 11 подключены к источнику питания (не показан), а точки в и d - к разъему 14 выходного сигнала.

Блок 19 переключающихся адсорберов включает первый 54 и второй 55 адсорберы, которые связаны через переключающие вентили с входным каналом 56, а также гелиевым 20 и неоновым 21 каналами (фиг.4). Между входным каналом 56 и нагнетательной линией 25 первой ступени 22 мембранного компрессора 18, а также между гелиевым каналом 20 и всасывающей линией 27 второй ступени 23 включен теплообменник 57 блока переключающихся адсорберов 19.

Контур 12 анализируемого газа газоанализатора 11 может быть подключен в точке А2 после слияния канала 10 вывода обогащенного неона из полости 6 высокого давления мембранного модуля 5 и неоновых каналов 21 блока 19 переключающихся адсорберов.

Установка для мембранного разделения неоно-гелиевой смеси (фиг.1) работает следующим образом.

В циркуляционный компрессор 43 блока 1 предварительного разделения неоно-гелиевой смеси по линии подачи 4 поступает неоно-гелиевая смесь с природным соотношением неона и гелия (порядка 75% Ne и 25% He) и давлением порядка  $P=0,12$  МПа (абс.). Сжатая в циркуляционном компрессоре 43 неоно-гелиевая смесь под давлением  $P=2,5$  МПа последовательно охлаждается в основном рекуперативном теплообменнике 44, азотной ванне 45 и низкотемпературном рекуперативном теплообменнике 46 до  $T<40$  К. При этих условиях неон в потоке сжатой смеси частично сжижается. Процесс охлаждения смеси до температуры  $T=30... 31$  К, сопровождаемый дальнейшим сжижением неона, продолжается в испарителе 49 ректификационной колонны 2 блока 1 предварительного разделения неоно-гелиевой смеси за счет теплового контакта с кипящим в ректификационной колонне 2 неона. Парожидкостная смесь неона и гелия разделяется в сепараторе 3. При этом отдувочный газ с концентрацией 20% Ne (остальное - гелий) отводится из верхней части сепаратора 3 в качестве побочного продукта. Возврат отдувочного газа (с целью переработки) обратно в ректификационную колонну 2 блока 1 предварительного разделения неоно-гелиевой смеси недопустим, так как неминуемо приведет к накоплению в ней гелия и утрате работоспособности.

Из нижней части сепаратора 3 отбирается жидкость, состоящая на 98% из неона (остальное - гелий). По линии 47 жидкой фракции она дросселируется в дроссельном вентиле 48 и подается в ректификационную колонну 2. Малорасходный поток обогащенной гелием отдувки отбирают в верхней части ректификационной колонны 2 и направляют в циркуляционный компрессор 43 блока 1 предварительного разделения неоно-гелиевой смеси.

В нижней части (кубе) ректификационной колонны 2 получают чистый продукционный неон, который испаряют в низкотемпературном рекуперативном теплообменнике 46 и нагревают в основном рекуперативном теплообменнике 44 до  $T=260... 280$  К. В последнем теплообменнике 44 также нагревают отдувочный газ сепаратора 3 и гелиевую отдувку ректификационной колонны 2.

Отогретый отдувочный газ по линии 41 подается в канал 9 поступления исходной неона-гелиевой смеси в полость 6 высокого давления мембранного модуля 5. Под действием разности давлений часть смеси (преимущественно гелий) проникает через селективный слой 8 в полость 7 низкого давления мембранного модуля. За счет различных проницаемостей компонентов смеси в полости 7 низкого давления и в канале 17 получают поток обогащенного гелия с концентрацией прядка  $Y=94\%$  He (остальное - неон).

По мере прохождения исходной неона-гелиевой смеси через полость 6 высокого давления мембранного модуля 5 в ней повышается концентрация неона. С содержанием прядка  $y=73\dots 77\%$  He (остальное  $Y=27\dots 23\%$  гелий) обогащенный неон выводится из мембранного модуля 5 через канал 10 вывода обогащенного неона и далее поступает в циркуляционный компрессор 43 блока 1 предварительного разделения неона-гелиевой смеси.

В зависимости от соотношения расходов в канале 9 поступления исходной смеси в мембранный модуль 5 и в канале 10 обогащенного неона, на выходе из мембранного модуля 5 (в каналах 10 и 17) устанавливаются те или иные концентрации неона и гелия. При этом уменьшение расхода через регулятор 15 расхода обогащенного неона приводит к повышению концентрации неона в канале 10 вывода обогащенного неона мембранного модуля 5.

Для стабильной работы установки необходимо, по возможности, согласовать концентрации потоков, смешиваемых на входе в циркуляционный компрессор 43. Эту функцию автоматически выполняет регулятор 15 расхода обогащенного неона, приводимый в действие с помощью исполнительного механизма 16. Управляющий импульс образуется на клеммах разъема 14 выходного сигнала газоанализатора 11 и усиливается в усилителе 40. Отклонение концентрации смеси в точках А1 (или А2) от оптимальной в точке А3 регистрируется также с помощью программируемого милливольтметра, который может быть связан с сигнальным устройством или с блоком хранения информации на основе компьютера (не показаны).

Газоанализатор 11, выполненный на основе детектора теплопроводности, выполняет функции сравнивающего устройства. В контур анализируемого газа 12 и в контур поверочной смеси 13 подаются микрорасходные ( $<2 \text{ дм}^3/\text{час}$ ) газовые потоки: анализируемой смеси - из точки А1 (А2) через редуктор 38 анализируемого газа и из точки А3 через редуктор 42 эталонной поверочной смеси. Если концентрация анализируемой смеси  $y$  в точке А1 (А2) идентична составу поверочной смеси в точке А3 (в частном случае  $y_0=75\%$  Ne), то температуры и сопротивления резисторов 50 и 51, выполняющих функции чувствительных элементов, будут одинаковы (фиг.2). Схема измерительного моста в этом случае сбалансирована, между точками b и d не будет разности потенциалов, а на программируемый милливольтметр 39 и усилитель 40 подается нулевой сигнал  $U=0$  (фиг.3).

Если концентрация Ne в точке А1 (А2) и в контуре 12 анализируемого газа упадет (сместится в сторону He, например, до  $y_H=73\%$ ), то увеличится теплопроводность смеси (за счет возросшей доли гелия). Улучшенный отвод тепла приведет к уменьшению температуры и сопротивления резистора 50 в потоке анализируемого газа. Поскольку сопротивление резистора 51, контактирующего с поверочной смесью, останется на прежнем уровне, равновесие схемы измерительного моста будет нарушено и между точками b и d возникнет разность потенциалов  $\Delta U_H=U_b-U_d>0$ . Это напряжение через разъем 14 выходного сигнала регистрируется программируемым милливольтметром

39 (с градуировкой в % Ne), а также подается на вход усилителя 40. Он повышает мощность сигнала до уровня, достаточного для срабатывания исполнительного механизма 16. Проходное сечение регулятора 15 расхода обогащенного неона мембранного модуля 5 уменьшится. При этом снизится расход, а концентрация в канале 10 обогащенного неона восстановится до уровня  $y_H=y_0=75\%$ ).

Аналогично, при повышении концентрации Ne в канале A1 (A2) и в контуре 12 анализируемого газа (например, до  $y_N=77\%$ ) между точками b и d в газоанализаторе 11 сформируется сигнал, но с противоположным знаком  $\Delta U_H=U_b-U_d>0$ . Проходное сечение регулятора 15 расхода обогащенного неона увеличится. Расход в канале 10 обогащенного неона возрастет, а концентрация неона в нем упадет с  $y_N=77\%$  до  $y_0=75\%$  (фиг.3). Поддержание состава обогащенного неона, подаваемого в качестве дополнительного потока на вход в циркуляционный компрессор 43, способствует стабильной эксплуатации блока 1 предварительного разделения неона-гелиевой смеси.

При изменении концентрации в точках  $y_{Ne}=73\dots 77\%$  состав смеси в канале 17 вывода обогащенного гелия, поступающего из полости 7 низкого давления мембранного модуля 5, будет иметь практически неизменный состав  $y_{Ne}=5\dots 6\%$ ,  $y_{He}=94\dots 95\%$  (это следствие перераспределения концентраций и расходов, которые оказывают взаимно противоположные влияния на состав обогащенного гелия).

Согласование расхода обогащенного гелия в канале 17 и производительности первой ступени 22 мембранного компрессора 18 обеспечивается перепуском (байпасированием) смеси из нагнетательной линии 25 в канал 9 поступления исходной смеси в мембранный модуль 5. Помимо согласования расходных характеристик, рециркуляция потока по байпасной ветке 26 обеспечивает многостадийное разделение смеси в мембранном модуле 5 и повышает эффективность сепарации.

Для получения гелия высокой чистоты (99,999% Ne) обогащенный гелий разделяют в блоке 10 переключающихся адсорберов (фиг.4) при давлении, например,  $P_A=1,0\dots 1,5$  МПа. Такой уровень давления соответствует промежуточному (межступенчатому) давлению мембранного компрессора 18. Этот параметр, в свою очередь, определяется абсолютными давлениями во всасывающей линии 24 первой ступени 22 (обычно  $P_{B1}=0,12$  МПа) и в нагнетательной линии 28 и баллонах 34 (обычно  $P_{H2}=15\dots 20$  МПа). Отношение этих давлений равно суммарной степени сжатия компрессора 18. В нашем примере

$$\varepsilon_{\Sigma} = \frac{P_{H2}}{P_{B1}} = 125\dots 167$$

(2)

Аналогично степени сжатия первой 22 и второй 23 ступеней, соответственно, равны

$$\varepsilon_1 = \frac{P_{H1}}{P_{B1}} \approx \frac{P_{B2}}{P_{B1}},$$

(3)

$$\varepsilon_2 = \frac{P_{H2}}{P_{B2}} \approx \frac{P_{H2}}{P_{H2}}.$$

(4)

Предпочтительными условиями эксплуатации является такие, при которых

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \sqrt{\varepsilon_\Sigma} = 11,2 \dots 12,9.$$

(5)

В рассматриваемом примере это соответствует давлению

$$P_{АДС} = P_{Н1} \approx P_{В2} = P_{В1} \varepsilon = 1,34 \dots 1,55 \text{ МПа.}$$

Блок 19 переключающихся адсорберов (фиг.4) работает следующим образом.

Обогащенный гелий из нагнетательной линии 25 подается в теплообменник 57, охлаждается до  $T=30 \dots 85 \text{ К}$  и поступает во входной канал 56 блока 19 переключающихся адсорберов. Через коммутирующий вентиль этот поток подается в первый адсорбер 54, который охлаждается, например, потоком внешнего хладагента до температуры  $T=28 \dots 78 \text{ К}$ . Неон и гелий обладают различной поглощающей способностью. За счет преимущественного поглощения неона на выходе из первого адсорбера 54 и в гелиевом канале 20 получают гелий высокой чистоты, который нагревается в теплообменнике 57, сжимается во второй ступени 23 мембранного компрессора 18 и подается в баллоны 34 при давлении  $P_{Н2}=15 \dots 20 \text{ МПа}$ .

Параллельно во втором адсорбере 55 производится регенерация (она предполагает восстановление поглощающей способности сорбента и извлечение накопленного в предыдущем цикле неона). За счет подвода тепла  $Q$  (например, с помощью греющего газа или электрических нагревателей) температура второго адсорбера 55 повышается до  $T=200 \dots 300 \text{ К}$ , а поглощающая способность сорбента в нем уменьшается в десятки раз. За счет этого накопленный в предыдущем цикле неон десорбируется и выводится из второго адсорбера 55 в неоновый канал 21 блока адсорберов 19. Далее этот газ смешивают с обогащенным неоном, поступающим из канала 10 мембранного модуля 5, и направляют на всасывание в циркуляционный компрессор 43 (фиг.1). Этим обеспечивается утилизация неона в блоке 1 предварительного разделения неона-гелиевой смеси.

После окончания регенерации второго адсорбера 55 его охлаждают до рабочих температур, например, с помощью внешнего хладагента. Вентили переключают и из входного канала 56 во второй адсорбер 55 начинают подавать охлажденную в теплообменнике 57 смесь. При этом на выходе из второго адсорбера 55 образуется гелий высокой чистоты, который подают в гелиевый канал 20. Гелий нагревают в теплообменнике 57, сжимают во второй ступени 23 мембранного компрессора 18. Параллельно первый адсорбер 54 переводят в фазу регенерации и из него отбирают десорбируемый неон через неоновый канал 21. Для сглаживания колебаний расхода неоновый канал 21 блока 19 переключающихся адсорберов подключен к газгольдеру 35. В период регенерации и активной десорбции неона в первом адсорбере 54 (или втором адсорбере 55) давление в газгольдере повышается, например, с 0,15 до 0,25 МПа (абс.), а затем падает в промежутках времени между регенерациями. Перед вентилем 37 за счет редуктора 36 поддерживается неизменное давление. За счет этого в неоновом канале 21 устанавливается практически стабильный расход, равный средней производительности блока адсорберов 19 (по неоновой смеси).

Для оценки влияния мембранного модуля 5 на параметры работы блока 19 переключающихся адсорберов воспользуемся модифицированными формулами Ленгмюра для расчета поглощающих способностей  $a_{NE}$  и  $a_{HE}$  в условиях вытеснительной адсорбции двух веществ - неона и гелия

$$a_{NE} = a_{NE}^m \cdot \frac{b_{NE} \cdot P \cdot y_{NE}}{1 + b_{NE} \cdot P \cdot y_{NE} + b_{HE} \cdot P \cdot Y_{HE}}, \quad (6)$$

$$a_{\text{HE}} = a_{\text{HE}}^m \cdot \frac{b_{\text{HE}} \cdot P \cdot Y_{\text{HE}}}{1 + b_{\text{NE}} \cdot P \cdot y_{\text{NE}} + b_{\text{HE}} \cdot P \cdot Y_{\text{HE}}} \quad (7)$$

где  $y_{\text{NE}}$  и  $Y_{\text{HE}}=(1-y_{\text{NE}})$  - объемные доли неона и гелия на входе в адсорберы;  $P$  -

5 давление смеси;  $a_{\text{NE}}^m$ ;  $b_{\text{NE}}$  и  $a_{\text{HE}}^m$ ;  $b_{\text{HE}}$  - константы, определяемые экспериментально.

Для активированного угля при  $T=77,4$  К:

$$a_{\text{NE}}^m = 326 \text{ см}^3/\text{г} = 0,326 \text{ м}^3/\text{кг} \text{ (адсорбента)}; b_{\text{NE}} = 0,285 [1/\text{ата}] = 2,85 [1/\text{МПа}];$$

$$10 \quad a_{\text{HE}}^m = 78,7 \text{ см}^3/\text{г} = 0,0787 \text{ м}^3/\text{кг} \text{ (адсорбента)}; b_{\text{HE}} = 0,0237 [1/\text{ата}] = 0,237 [1/\text{МПа}].$$

Примем исходные данные: давление в адсорбере  $P=1,3$  МПа (абс), температура  $T=77,4$  К, концентрация неона в отдувке, направляемой непосредственно в адсорбер (прототип)  $y_{\text{NE}}(\text{I})=0,2$ -20%, концентрация неона в обогащенном гелии, направляемом в адсорбер из мембранного модуля (предлагаемое решение)  $y_{\text{NE}}(\text{II})=0,05$ -5%.

15 Для этих условий вычислим поглощающую способность адсорбера по неону в среде гелия по формуле (6). Для прототипа:

$$a_{\text{NE}}(\text{I}) = 0,326 \cdot \frac{2,85 \cdot 1,3 \cdot 0,2}{1 + 2,85 \cdot 1,3 \cdot 0,2 + 0,237 \cdot 1,3 \cdot 0,8} = 0,1215 \text{ м}^3 \text{ Ne / кг (сорбента)}.$$

20 Для предлагаемого решения:

$$a_{\text{NE}}(\text{II}) = 0,326 \cdot \frac{2,85 \cdot 1,3 \cdot 0,2}{1 + 2,85 \cdot 1,3 \cdot 0,05 + 0,237 \cdot 1,3 \cdot 0,95} = 0,0409 \text{ м}^3 \text{ Ne / кг (сорбента)}.$$

При расходе отдувки  $V=20$  м<sup>3</sup>/ч и содержании в ней неона 20% (для прототипа) в адсорбер будет поступать  $v_{\text{NE}}(\text{I})=V \cdot y_{\text{NE}}(\text{I})=20 \cdot 0,2=4$  м<sup>3</sup>/ч неона. Время рабочего периода (время защитного действия) адсорбера с массой активированного угля  $m_c=100$  кг равно

$$\tau(\text{I}) = \frac{m_c \cdot a_{\text{NE}}(\text{I})}{v_{\text{NE}}(\text{I})} = \frac{100 \cdot 0,1215}{4} = 3,04 \text{ часа (7,9 циклов в сутки)}.$$

30 Согласно таблице 1 за счет работы мембранного модуля в блок 19 адсорберов будет подаваться поток с расходом  $v(\text{II})=15,71$  м<sup>3</sup>/ч и средней концентрацией по неону всего  $y_{\text{NE}}(\text{II})=5\%$ . Таким образом, нагрузка адсорбера (расход по неону в составе потока обогащенного гелия) уменьшится и будет равна  $v_{\text{NE}}(\text{II})=0,05 \cdot 15,71=0,78$  м<sup>3</sup>/ч неона.

35 Время рабочего периода (время защитного действия) адсорбера с такой же массой  $m_c=100$  кг составит

$$\tau(\text{II}) = \frac{m_c \cdot a_{\text{NE}}(\text{II})}{v_{\text{NE}}(\text{II})} = \frac{100 \cdot 0,0409}{0,78} = 5,24 \text{ часа (4,6 цикла в сутки)}.$$

40 Таким образом, совокупное использование блока предварительного разделения неона-гелиевой смеси, установки мембранного разделения и блока переключающихся адсорберов в соответствии с предлагаемым решением позволяет повысить ее производительность и экономичность. Как показано выше, по отношению к прототипу, достигается сокращение числа циклов работы переключающихся адсорберов и снижение затрат на их криогенное и энергетическое обеспечение на 30... 40%. Этот положительный эффект обеспечивается многостадийным разделением неона-гелиевой смеси в самом мембранном модуле и работающих в совокупности с ним блоках. Стабильные концентрации получаемых в мембране потоков позволяют организовать непрерывную

утилизацию обогащенного неона в блоке предварительного разделения 1 и окончательную очистку гелия в блоке 19 переключающихся адсорберов. За счет такого решения повышается производительности и экономичность. Предлагаемая установка способна практически безотходно производить оба целевых продукта (неона и гелия) в чистом виде.

Таблица 1 Параметры потоков в характерных точках схемы установки для мембранного разделения неона-гелиевой смеси (согласно фиг. 1 и 4)						
10	Наименование потока, магистрали	Концентрация, %		Расход, норм. м <sup>3</sup> /ч (в среднем)		
		Неон	Гелий	Всего	В том числе	
					по неону	по гелию
	Линия 4 подачи исходной смеси в блок 1 предварительного раздел.	75	25	58,67	44,0	14,67
	Выход циркуляционного компрессора 43; вход в сепаратор 3	75	25	67,8	50,85	16,95
15	Линия 41 отдувочного газа сепаратора 3; канал 9 поступления исходной смеси в мембранный модуль 5	20	80	20	4,0	16,0
	Жидкая фракция сепаратора 3	98	2	47,8	46,85	0,95
	Отдувка колонны 2	70... 80	30... 20	3,8	2,85	0,95
	Кубовый продукт колонны 2; (товарный неон)	99,999	0,001	44,0	44,0	0,001
20	Канал 10 вывода обогащенного неона из мембранного модуля 5	73... 77	27... 23	4,29	3,22	1,07
	Канал 17 вывода обогащенного гелия из мембранного модуля 5	4... 6	96... 94	15,71	0,78	14,93
	Гелиевый канал 20 переключающихся адсорберов 19; (товарный гелий в баллоны 34)	0,001	99,999	14,67	0,001	14,67
	Неоновый канал 21 переключающихся адсорберов 19	70... 80	30... 20	1,04	0,78	0,26

25

### Формула изобретения

1. Установка для мембранного разделения неона-гелиевой смеси, включающая блок предварительного разделения неона-гелиевой смеси с ректификационной колонной, сепаратором отдувочного газа и линией подачи неона-гелиевой смеси, мембранный модуль с полостями высокого и низкого давления, разделенными селективным слоем, каналом поступления исходной неона-гелиевой смеси в мембранный модуль, каналом вывода обогащенного неона из полости высокого давления мембранного модуля, соединенного с газоанализатором, содержащим контур анализируемого газа, контур поверочной смеси и разъем выходного сигнала, и с регулятором расхода обогащенного неона мембранного модуля, снабженного исполнительным механизмом, и каналом вывода обогащенного гелия из полости низкого давления мембранного модуля, подключенным к мембранному компрессору, а также блок переключающихся адсорберов, имеющий на выходе гелиевый и неоновый каналы, отличающаяся тем, что мембранный компрессор включает первую и вторую ступени, каждая из которых содержит всасывающую и нагнетательную линии и снабжена соответствующей байпасной веткой, причем байпасная ветка первой ступени мембранного компрессора соединяет нагнетательную линию первой ступени мембранного компрессора с каналом поступления исходной неона-гелиевой смеси в мембранный модуль, байпасная ветка второй ступени мембранного компрессора соединяет нагнетательную линию второй ступени мембранного компрессора с всасывающей линией этой же ступени мембранного компрессора, при этом байпасная ветка, по крайней мере, одной ступени мембранного компрессора снабжена редуктором, причем блок переключающихся адсорберов размещен между нагнетательной линией первой ступени мембранного компрессора и всасывающей линией второй ступени мембранного компрессора

2. Установка по п.1, отличающаяся тем, что к неоновому каналу блока переключающихся адсорберов подключен газгольдер.

3. Установка по п.1, отличающаяся тем, что неоновый канал блока переключающихся адсорберов соединен с каналом вывода обогащенного неона из полости высокого давления мембранного модуля.

4. Установка по п.1, отличающаяся тем, что контур анализируемого газа газоанализатора соединен с каналом вывода обогащенного неона из полости высокого давления мембранного модуля.

5. Установка по п.1, отличающаяся тем, что контур поверочной смеси газоанализатора соединен с линией подачи неоно-гелиевой смеси блока предварительного разделения неоно-гелиевой смеси.

6. Установка по любому из пп.1-4, отличающаяся тем, что контур анализируемого газа газоанализатора соединен с неоновым каналом блока переключающихся адсорберов.

7. Установка по любому из пп.1-4, отличающаяся тем, что разъем выходного сигнала газоанализатора соединен через усилитель с исполнительным механизмом регулятора расхода обогащенного неона мембранного модуля.

8. Установка по любому из пп.1-5, отличающаяся тем, что канал поступления исходной неоно-гелиевой смеси в мембранный модуль связан с сепаратором отдувочного газа блока предварительного разделения неоно-гелиевой смеси, а линия подачи неоно-гелиевой смеси блока предварительного разделения неоно-гелиевой смеси подключена к регулятору расхода обогащенного неона мембранного модуля.

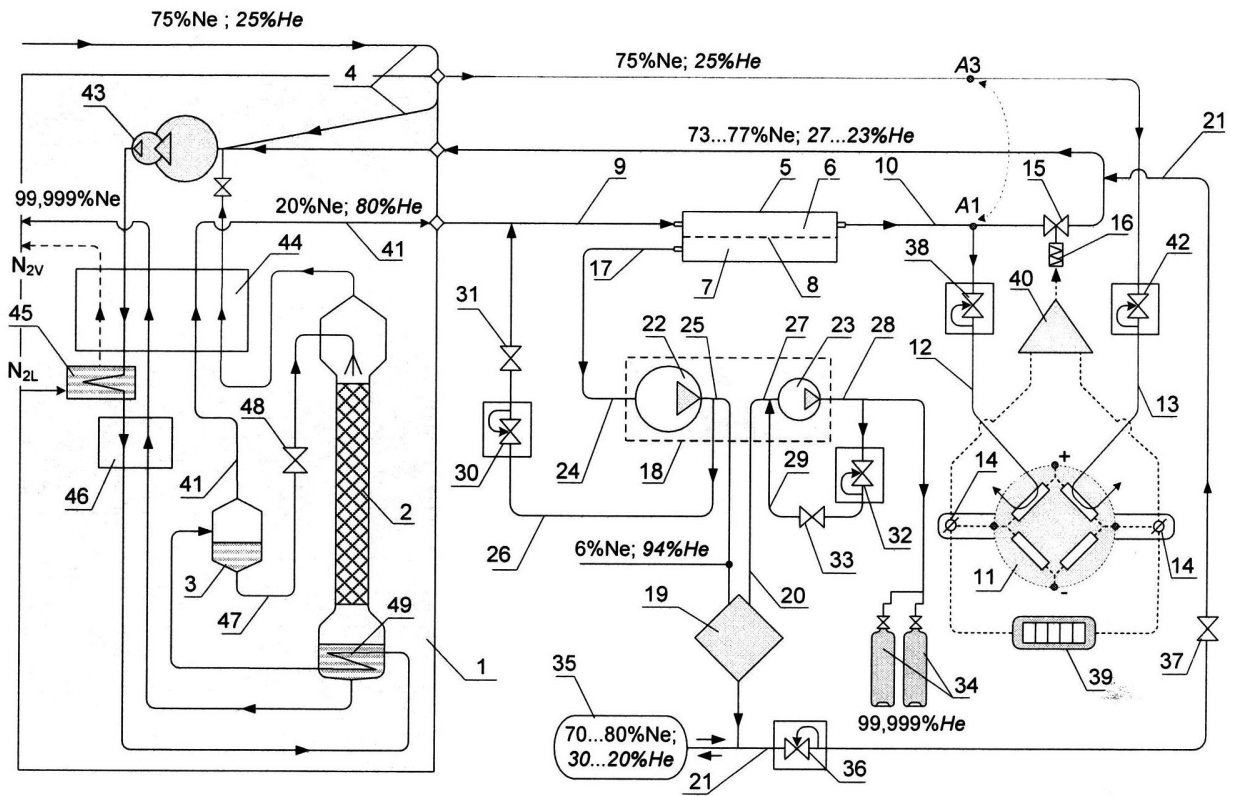
25

30

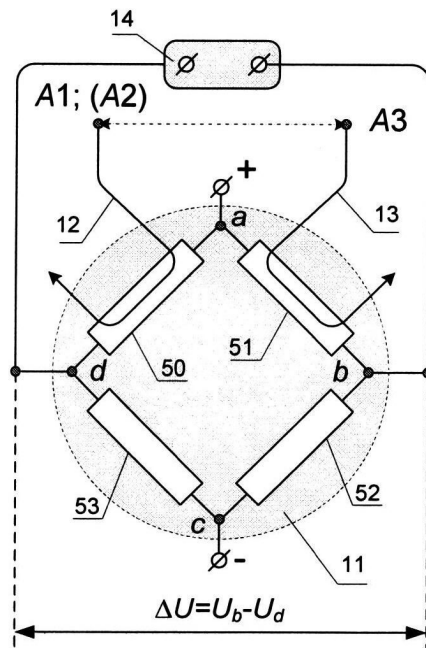
35

40

45

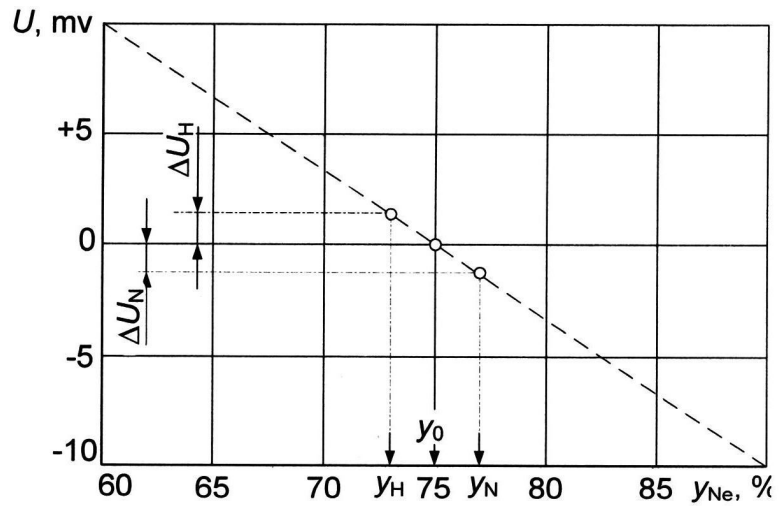


Фиг. 1

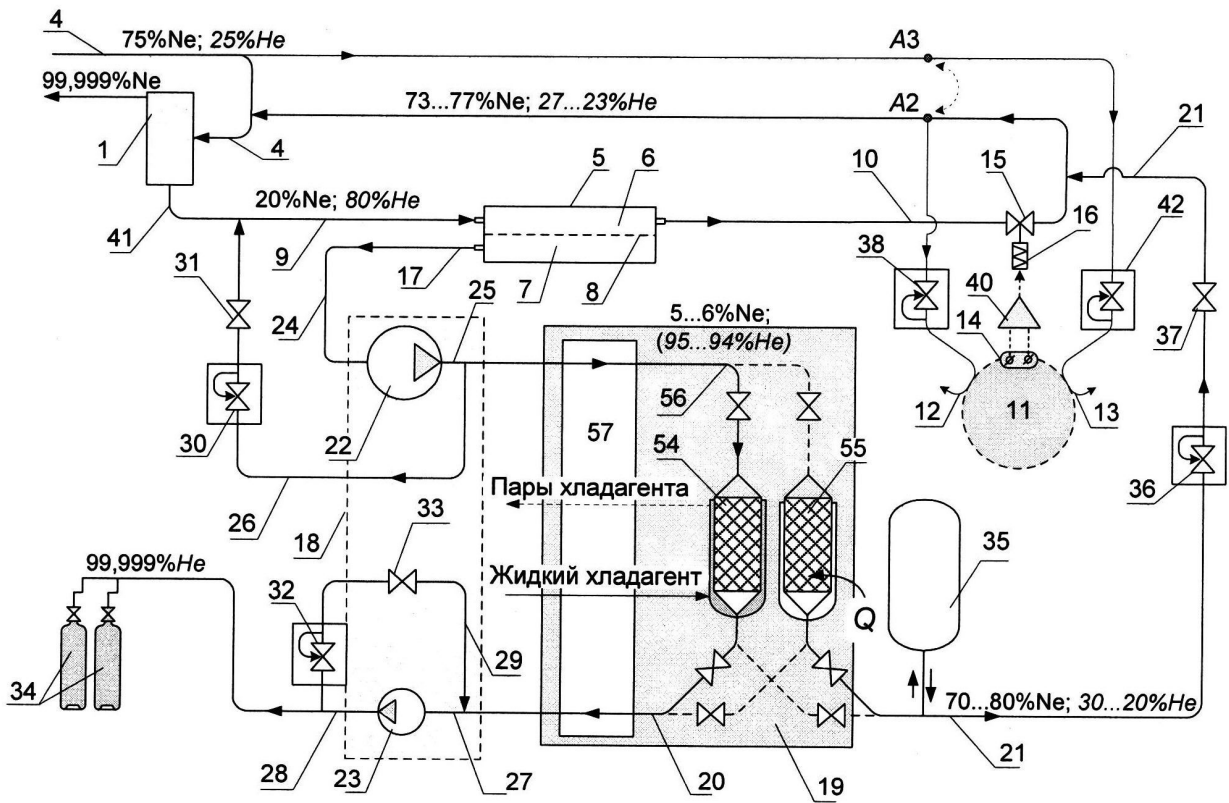


Фиг. 2





Фиг. 3



Фиг. 4