

## Установка для получения холода

Полезная модель относится к криогенной технике и, в частности, к криогенным компрессорно-детандерным газожидкостным воздухоразделительным установкам, а также к жидкостным криогенным системам, предназначенным для бездренажного хранения криогенных продуктов в состоянии недогретой жидкости.

Известно устройство для охлаждения сжатого газа, реализующее известный способ работы охлаждающего устройства, которое содержит рекуперативный теплообменник и вихревую трубу с двумя потоками газа, с помощью которой поступающий в исходном термодинамическом состоянии сжатый газ разделяется в зависимости от температуры на горячий и холодный потоки [1]. Относительно горячий поток подается на вход прямого потока рекуперативного теплообменника, а холодный поток вихревой трубы поступает на вход обратного потока или на выход прямого рекуперативного теплообменника. При этом горячий поток перед подачей в рекуперативный теплообменник предварительно охлаждают.

Недостаток известного устройства получения холода состоит в низкой термодинамической эффективности процесса расширения сжатого газа в вихревой трубе, который производится без отдачи «внешней» работы. Вследствие этого экономичность данного известного устройства получения холода низкая.

Наиболее близким известным техническим решением в качестве прототипа является устройство для получения холода, реализующее известный способ производства холода в криогенных установках, которое содержит нижнюю и верхнюю ректификационные колонны, конденсатор-испаритель, установленный между верхней и нижней ректификационными колоннами, первый, второй, третий и четвертый теплообменники-охладители, первый, второй и третий дроссели, производционный криогенный сосуд азота с погружным теплообменником-охладителем, производционный криогенный сосуд

кислорода с погружным теплообменником-охладителем и последовательно соединенные между собой воздушный компрессор, водяной скруббер, адсорбционный блок комплексной очистки воздуха, основной рекуперативный теплообменник, влажно-паровой детандер и детандерный сборник-отделитель жидкости, паровой выход которого совместно с паровыми выходами погруженных теплообменников-охладителей подсоединен через основной рекуперативный теплообменник к входу воздушного компрессора, верхний выход нижней ректификационной колонны соединен с входом продукционного криогенного сосуда кислорода с погружным теплообменником-охладителем, один нижний выход нижней ректификационной колонны подсоединен через первый дроссель к первому входу верхней ректификационной колонны, другой нижний выход нижней ректификационной колонны связан через последовательно соединенные второй теплообменник-охладитель и второй дроссель со вторым входом верхней ректификационной колонны, один выход конденсатора-испарителя подсоединен через третий теплообменник-охладитель с входом продукционного криогенного сосуда азота с погружным теплообменником-охладителем, другой выход конденсатора-испарителя связан через четвертый теплообменник-охладитель и третий дроссель с третьим входом верхней ректификационной колонны, выход которой связан через четвертый теплообменник-охладитель и основной рекуперативный теплообменник с атмосферным воздухом, выходы жидких фаз детандерного сборника-отделителя жидкости и погружных теплообменников-охладителей продукционных криогенных сосудов азота и кислорода подсоединены через первый теплообменник-охладитель и основной рекуперативный теплообменник с входом воздушного компрессора, выход адсорбционного блока комплексной очистки воздуха подключен через основной рекуперативный теплообменник с входом нижней ректификационной колонны, жидкостные выходы детандерного сборника-отделителя жидкости и погружных теплообменников-охладителей жидкого азота и жидкого кислорода подсоединены через параллельно соединенные между собой первый, второй

и третий теплообменники-охладители и основной рекуперативный теплообменник к входу воздушного компрессора [2]. За счет сжатия газообразного хладагента до давления больше критического (среднего и высокого давления), охлаждения его обратным потоком воздуха, разделения прямого потока на основную и дополнительные части, из которых дополнительную часть потока используют для компенсации необратимых потерь, а основную часть потока адиабатически последовательно расширяют в детандерах, при этом в детандере нижней ступени охлаждения хладагент основной части потока полностью ожижают, а дополнительный поток, после детандирования от сверхкритического давления до промежуточного давления, ожижают в теплообменнике дроссельной ступени охлаждения. Полученные жидкие хладагенты отводят потребителю в производственные криогенные сосуды азота и кислорода, а пары используют для охлаждения основной и дополнительной частей прямого потока воздуха.

Недостатком прототипа является его низкая экономичность, так как полное ожижение хладагента в турбодетандере нижней ступени охлаждения установки приводит к существенному снижению КПД детандера, которое наступает при степени влажности более 7% [3]. Указанные недостатки значительно уменьшают экономичность установки.

Целью полезной модели является повышение экономичности и удельной холодильной мощности компрессорно-детандерной криогенной установки путем использования в холодильном цикле теплоты испарения жидкой фазы хладагента, полученной при детандировании хладагента, сжатого до давления ниже критического, в область влажного пара.

Сущность полезной модели состоит в том, что, кроме известных и общих с прототипом отличительных признаков, которые характеризуются тем, что устройство для получения холода, содержит нижнюю и верхнюю ректификационные колонны, конденсатор-испаритель, установленный между верхней и нижней ректификационными колоннами, первый, второй, третий и четвертый теплообменники-охладители, первый, второй и третий дроссели,

продукционный криогенный сосуд азота с погружным теплообменником-охладителем, продукционный криогенный сосуд кислорода с погружным теплообменником-охладителем и последовательно соединенные между собой воздушный компрессор, водяной скруббер, адсорбционный блок комплексной очистки воздуха, основной рекуперативный теплообменник, влажно-паровой детандер и детандерный сборник-отделитель жидкости, паровой выход которого совместно с паровыми выходами погружных теплообменников-охладителей подсоединен через основной рекуперативный теплообменник к входу воздушного компрессора, верхний выход нижней ректификационной колонны соединен с входом продукционного криогенного сосуда кислорода с погружным теплообменником-охладителем, один нижний выход нижней ректификационной колонны подсоединен через первый дроссель к первому входу верхней ректификационной колонны, другой нижний выход нижней ректификационной колонны связан через последовательно соединенные второй теплообменник-охладитель и второй дроссель со вторым входом верхней ректификационной колонны, один выход конденсатора-испарителя подсоединен через третий теплообменник-охладитель с входом продукционного криогенного сосуда азота с погружным теплообменником-охладителем, другой выход конденсатора-испарителя связан через четвертый теплообменник-охладитель и третий дроссель с третьим входом верхней ректификационной колонны, выход которой связан через четвертый теплообменник-охладитель и основной рекуперативный теплообменник с атмосферным воздухом, выходы жидких фаз детандерного сборника-отделителя жидкости и погружных теплообменников-охладителей продукционных криогенных сосудов азота и кислорода подсоединены через первый теплообменник-охладитель и основной рекуперативный теплообменник с входом воздушного компрессора, выход адсорбционного блока комплексной очистки воздуха подключен через основной рекуперативный теплообменник с входом нижней ректификационной колонны, жидкостные выходы детандерного сборника-отделителя жидкости и погружных теплообменников-охладителей жидкого азота и жидкого

кислорода подсоединены через параллельно соединенные между собой первый, второй и третий теплообменники-охладители и основной рекуперативный теплообменник к входу воздушного компрессора, предлагаемая установка для получения холода содержит электронагреватель, насос жидкого кислорода, теплообменник-испаритель, дифференциальный манометр и два блока измерений давления и температуры, подключенные к входу и выходу влажно-парового детандера, дифференциальный манометр подключен к выходам паровой и жидкой фазам детандерного сборника-отделителя жидкости, вход насоса жидкого кислорода соединен с входом производственного криогенного сосуда кислорода, выход насоса жидкого кислорода подключен через одну магистраль теплообменника-испарителя к потребителю сжатого газообразного кислорода, другая магистраль которого включена в цепь между выходом адсорбционного блока комплексной очистки воздуха и входом влажно-парового детандера, электронагреватель включен в магистраль, соединяющую выход верхней ректификационной колонны с адсорбционным блоком комплексной очистки воздуха.

Новизна полезной модели заключается в том, что предлагаемая установка для получения холода содержит электронагреватель, насос жидкого кислорода, теплообменник-испаритель, дифференциальный манометр и два блока измерения давления и температуры, подключенные к входу и выходу влажно-парового детандера, дифференциальный манометр подключен к выходам паровой и жидкой фазам детандерного сборника-отделителя жидкости, вход насоса жидкого кислорода соединен с входом производственного криогенного сосуда кислорода, выход насоса жидкого кислорода подключен через одну магистраль теплообменника-испарителя к потребителю сжатого газообразного кислорода, другая магистраль которого включена в цепь между выходом адсорбционного блока комплексной очистки воздуха и входом влажно-парового детандера, электронагреватель включен в магистраль, соединяющую выход верхней ректификационной колонны с адсорбционным блоком комплексной очистки воздуха, что обеспечивает повышение экономич-

ности и удельной холодильной мощности компрессорно-детандерной криогенной установки.

Диаграмма «давление-энтропия», поясняющая принцип работы предлагаемой установки для получения холода, и ее функциональная схема изображены на фиг. 1 и 2 соответственно.

На фиг. 1 и 2 обозначено:

- линия (в-с) отображает процесс детандирования в область влажного пара части прямого потока воздуха, сжатого до давления ниже критического;

- линия (g-f) отображает процесс дросселирования жидкого воздуха, охлажденного до состояния недогретой жидкости;

- линия (m-j) отображает процесс дросселирования жидкого воздуха в состоянии насыщенной жидкости;

- параметр ( $i-x_c$ ) отображает степень влажности воздуха в конце детандирования;

-  $T_a$  – температура прямого потока на входе в рекуперативный (основной) теплообменник;

-  $T_r$  – температура обратного потока воздуха на выходе из основного теплообменника;

-  $T_e$  – температура начала конденсации сжатого воздуха;

-  $T_n$  – температура сжатого воздуха в состоянии недогретой жидкости;

-  $T_d$  – температура обратного потока воздуха в состоянии насыщенного пара;

- линия (в-с), отображающая процесс влажно-парового детандирования;

- линия (в'-d), отображающая процесс газо-парового детандирования;

- линия (a-в-e-m-n-f-c-d-r), отображающая холодильный цикл с влажно-паровым детандированием:

- линия (a-в'-e-m-n-f-c-d-i), отображающая холодильный цикл с газо-паровым детандированием.

- 1 – воздушный компрессор;
- 2 – водяной скруббер;
- 3 – адсорбционный блок комплексной очистки воздуха (БКО);
- 4 – основной рекуперативный теплообменник;
- 5 – влажно-паровой детандер;
- 6 – детандерный сборник-отделитель жидкости;
- 7 и 8 – погруженные теплообменники-охладители;
- 9, 10, 11 и 12 – теплообменники-охладители;
- 13, 14 и 15 – дроссели;
- 16 – нижняя ректификационная колонна;
- 17 – верхняя ректификационная колонна;
- 18 – конденсатор–испаритель;
- 19 и 20 – производственные криогенные сосуды азота и кислорода соответственно;
- 21 – электронагреватель БКО;
- 22 – насос жидкого кислорода;
- 23 – теплообменник-испаритель;
- 24 – дифференцирующий манометр;
- 25 и 26 – измерители давления и температуры;
- 27 и 28 – измерители давления и температуры.

В исходном положении воздушный компрессор 1, водяной скруббер 2, адсорбционный блок комплексной очистки воздуха 3, основной рекуперативный теплообменник 4, влажно-паровой детандер 5 и детандерный сборник-отделитель жидкости 6 соединены между собой в виде последовательной цепи. Паровые выходы погруженных теплообменников-охладителей 7 и 8 подключены через основной рекуперативный теплообменник 4 к входу воздушного компрессора 1. Жидкостные выходы погруженных теплообменников-охладителей 7 и 8 подключены через теплообменники-охладители 9, 10, 11 и основной рекуперативный теплообменник 4 к входу воздушного компрессора 1. Выход теплообменника-охладителя 12 связан через основной

рекуперативный теплообменник 4 с атмосферным воздухом. Через дроссели 13, 14 и 15 подключены нижний выход нижней ректификационной колонны 16 непосредственно, через теплообменник-охладитель 10 и выход теплообменника 12 соответственно. Выход верхней ректификационной колонны 17 связан через основной рекуперативный теплообменник 4 с атмосферным воздухом. Выход конденсатора–испарителя 18 через теплообменник-охладитель 11 подключен к входу продукционного криогенного сосуда азота 19. Выход нижней ректификационной колонны 16 подключен через теплообменник-охладитель 9 к входу продукционного криогенного сосуда кислорода 20. Электронагреватель БКО 21 включен в магистраль, соединяющую выход верхней ректификационной колонны 17 с адсорбционным блоком комплексной очистки воздуха 3. Выход насоса жидкого кислорода 22 подсоединен к входу теплообменника-испарителя 23. Дифференцирующий манометр 24 включен в магистраль, соединяющую паровой и жидкостной выходы детандерного сборника-отделителя жидкости 24. Выходы измерителей давления и температуры 25 и 26 подключены к входу влажно-парового детандера 5, а выходы измерителей давления и температуры 27 и 28 подключены к выходу влажно-парового детандера 5.

Установка для получения холода работает следующим образом.

Воздушный компрессор 1 сжимает воздух до давления ниже критического и нагнетает его через водяной скруббер 2 в блок комплексной очистки воздуха 3. После комплексной очистки поток осушенного и очищенного сжатого воздуха делят на два прямых потока: прямой детандерный и прямой технологический, которые направляют в основной рекуперативный теплообменник 4, в последнем эти два прямых потока охлаждаются за счет холода двух обратных потоков: азота низкого давления из верхней ректификационной колонны 17 и циркуляционного потока детандерного воздуха низкого давления.

Охлажденный в теплообменнике 4 прямой детандерный поток детандируют в детандере 5 в область влажного пара, после чего из расширенного детандерного потока в детандерном сборнике – отделителе жидкости 6 полу-



чают: жидкую фазу – обогащённый кислородом воздух в состоянии насыщенной жидкости и паровую фазу – обогащённый азотом воздух в состоянии насыщенного пара. Контролируют процесс детандирования сжатого воздуха перед влажно-паровым детандером 5 по температуре – термометром сопротивления 26 и по давлению – манометром 25, а после детандера 5 по температуре – термометром сопротивления 28, по давлению – манометром 27, и по степени влажности – с помощью указателя уровня жидкого воздуха сборника – отделителя жидкости 6. Охлажденный в теплообменнике 4 прямой технологический поток сжатого воздуха в состоянии насыщенного пара направляют на разделение в нижнюю ректификационную колонну 16. Из верхней части нижней колонны 16 пар азота направляют в конденсатор 18, где азот конденсируются, образуя азотную флегму. Жидкий азот частично направляют на орошение тарелок нижней колоны 16 и частично направляют через теплообменник – охладитель 12 в состоянии недогретой жидкости через дроссель 15 на орошение верхней ректификационной колонны 17. В последнюю направляют также кубовую жидкость из нижней колонны 16 через дроссель 13 в состоянии насыщения и через дроссель 14 в состоянии недогретой жидкости из теплообменника – охладителя 10.

Из нижней части верхней ректификационной колонны 17 жидкий кислород в виде продукта через теплообменник-охладитель 9 в состоянии недогретой жидкости направляют в производционный криогенный сосуд кислорода 20 и через насос жидкого кислорода 22 в теплообменник-испаритель (газификатор) 23.

Жидкий азот из нижней ректификационной колонны 16 в виде продукта через теплообменник – охладитель 11 в состоянии недогретой жидкости направляют в производционный криогенный сосуд 19. Для охлаждения до состояния недогретой жидкости производственных жидкого азота, жидкого кислорода, кубовой жидкости, а также для криостатирования жидкого кислорода и жидкого азота в криогенных сосудах 19 и 20, испаряют отбираемый из детандерного сборника – отделителя жидкости 6 жидкий воздух при давле-

нии, близком к атмосферному, соответственно с помощью теплообменников-охладителей 11, 9 и 10 и погружных теплообменников-охладителей жидкого кислорода 8 и жидкого азота 7.

Работая с помощью предлагаемого устройства можно повысить холодопроизводительность турбомашинных газожидкостных холодильных установок разделения воздуха низкого давления на 25...30%. На диаграмме T-S, приведенной на фиг. 1, линия (в-с) соответствует процессу детандирования в область влажного пара части прямого потока воздуха, сжатого до давления ниже критического. Линия (g-f) отображает процесс дросселирования жидкого воздуха, охлажденного до состояния недогретой жидкости. Линия (m-j) отвечает процессу дросселирования жидкого воздуха в состоянии насыщенной жидкости, где степень влажности воздуха в конце детандирования определяется величиной ( $i-x_c$ ).

В предлагаемом устройстве с помощью блоков измерения температуры 26 и давления 27, а также с помощью блоков измерения давления 27 и температуры 28 отслеживается температура и давление прямого детандерного потока воздуха до и после его адиабатического расширения с помощью влажно-парового детандера 5, которое заканчивают в области влажного пара при степени влажности не более 20% и при давлении, близком к атмосферному.

Промышленная осуществимость предлагаемой полезной модели обосновывается тем, что в ней использованы известные агрегаты, механизмы и узлы, указанные в аналоге и прототипе, по своему прямому функциональному назначению. В организации-заявителе изготовлена модель установки для производства холода в 2012 году.

Положительный эффект от использования изобретения состоит в том, что повышается не менее чем на 25...30% холодопроизводительность турбомашинных газожидкостных установок разделения воздуха низкого давления на кислород и азот большой мощности при одновременном снижении удельных энергетических затрат не менее чем на 15...20%.

## Источники информации

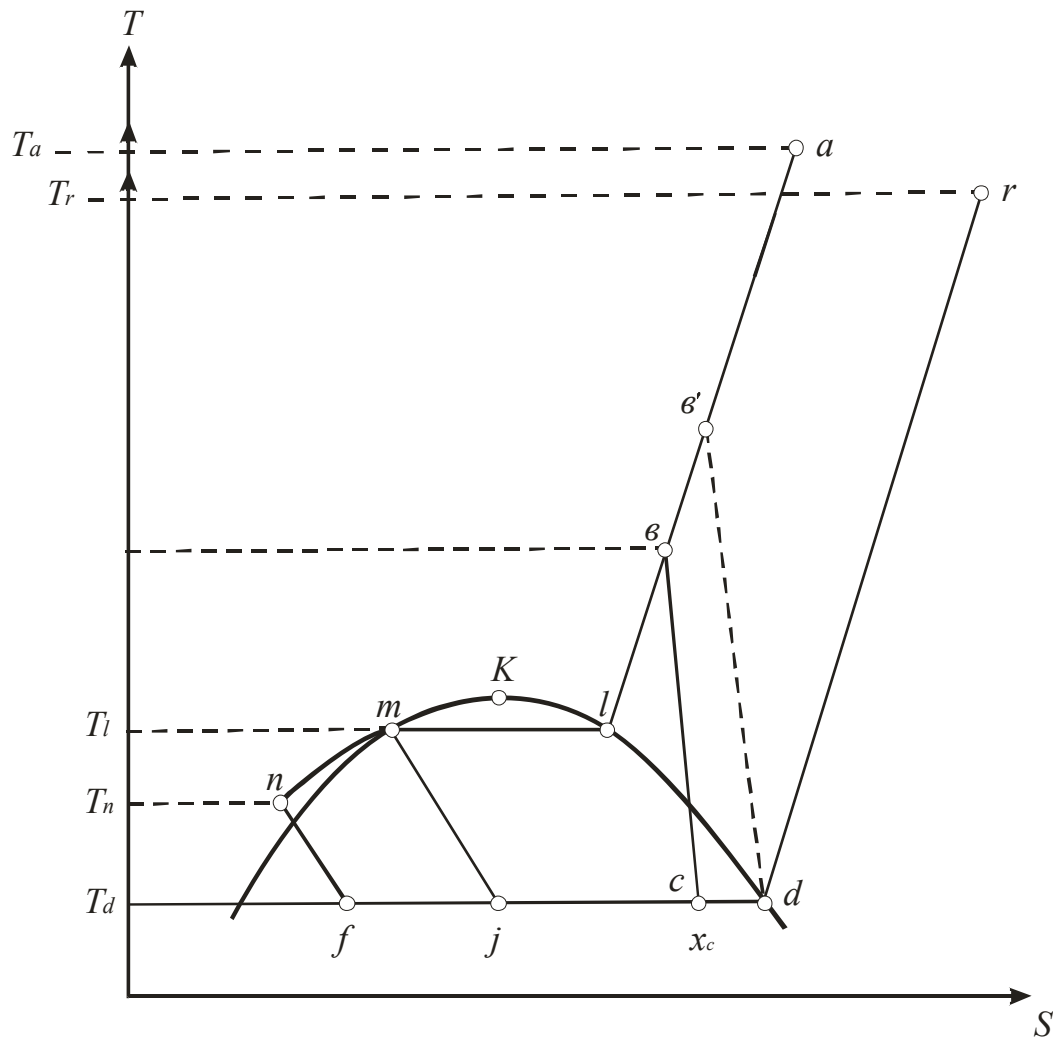
1. Способ работы охлаждающего устройства и охлаждающее устройство, патент 2193739 РФ, МПК F25B9/02, приоритет: 03.03.2000 г., автор и патенто-обладатель: Белостоцкий Ю.Т., (аналог).
2. Способ производства холода. Авторское свидетельство № 606042 СССР, МПК F25B9/02, F25J1/00, приоритет: 03.03.1976, авторы: Корсаков-Богатков С.М. и др., заявитель: Предприятие «Почтовый ящик М-5096», (прототип).
3. Давыдов А.Б, Кобулашвили А.Ш. Расчет и конструирование турбодетандеров. М.: Машиностроение 1987, 232 с .

## Формула полезной модели

Установка для получения холода, содержащая нижнюю и верхнюю ректификационные колонны, конденсатор-испаритель, установленный между верхней и нижней ректификационными колоннами, первый, второй, третий и четвертый теплообменники-охладители, первый, второй и третий дроссели, производственный криогенный сосуд азота с погружным теплообменником-охладителем, производственный криогенный сосуд кислорода с погружным теплообменником-охладителем и последовательно соединенные между собой воздушный компрессор, водяной скруббер, адсорбционный блок комплексной очистки воздуха, основной рекуперативный теплообменник, влажно-паровой детандер и детандерный сборник-отделитель жидкости, паровой выход которого совместно с паровыми выходами погруженных теплообменников-охладителей подсоединен через основной рекуперативный теплообменник к входу воздушного компрессора, верхний выход нижней ректификационной колонны соединен с входом производственного криогенного сосуда кислорода с погружным теплообменником-охладителем, один нижний выход нижней ректификационной колонны подсоединен через первый дроссель к первому входу верхней ректификационной колонны, другой нижний выход нижней ректификационной колонны связан через последовательно соединенные второй теплообменник-охладитель и второй дроссель со вторым входом верхней ректификационной колонны, один выход конденсатора-испарителя подсоединен через третий теплообменник-охладитель с входом производственного криогенного сосуда азота с погружным теплообменником-охладителем, другой выход конденсатора-испарителя связан через четвертый теплообменник-охладитель и третий дроссель с третьим входом верхней ректификационной колонны, выход которой связан через четвертый теплообменник-охладитель и основной рекуперативный теплообменник с атмосферным воздухом, выходы жидких фаз детандерного сборника-отделителя жидкости и погружных теплообменников-охладителей производственных криогенных сосудов азота и кислорода подсоединены через первый теплообменник-

охладитель и основной рекуперативный теплообменник с входом воздушного компрессора, выход адсорбционного блока комплексной очистки воздуха подключен через основной рекуперативный теплообменник с входом нижней ректификационной колонны, жидкостные выходы детандерного сборника-отделителя жидкости и погруженных теплообменников-охладителей жидкого азота и жидкого кислорода подсоединены через параллельно соединенные между собой первый, второй и третий теплообменники-охладители и основной рекуперативный теплообменник к входу воздушного компрессора, **отличающийся тем**, что содержит электронагреватель, насос жидкого кислорода, теплообменник-испаритель, дифференциальный манометр и два блока измерений давления и температуры, подключенные к входу и выходу влажно-парового детандера, дифференциальный манометр подключен к выходам паровой и жидкой фазам детандерного сборника-отделителя жидкости, вход насоса жидкого кислорода соединен с входом производственного криогенного сосуда кислорода, выход насоса жидкого кислорода подключен через одну магистраль теплообменника-испарителя к потребителю сжатого газообразного кислорода, другая магистраль которого включена в цепь между выходом адсорбционного блока комплексной очистки воздуха и входом влажно-парового детандера, электронагреватель включен в магистраль, соединяющую выход верхней ректификационной колонны с адсорбционным блоком комплексной очистки воздуха.

## Установка для получения холода



Фиг. 1

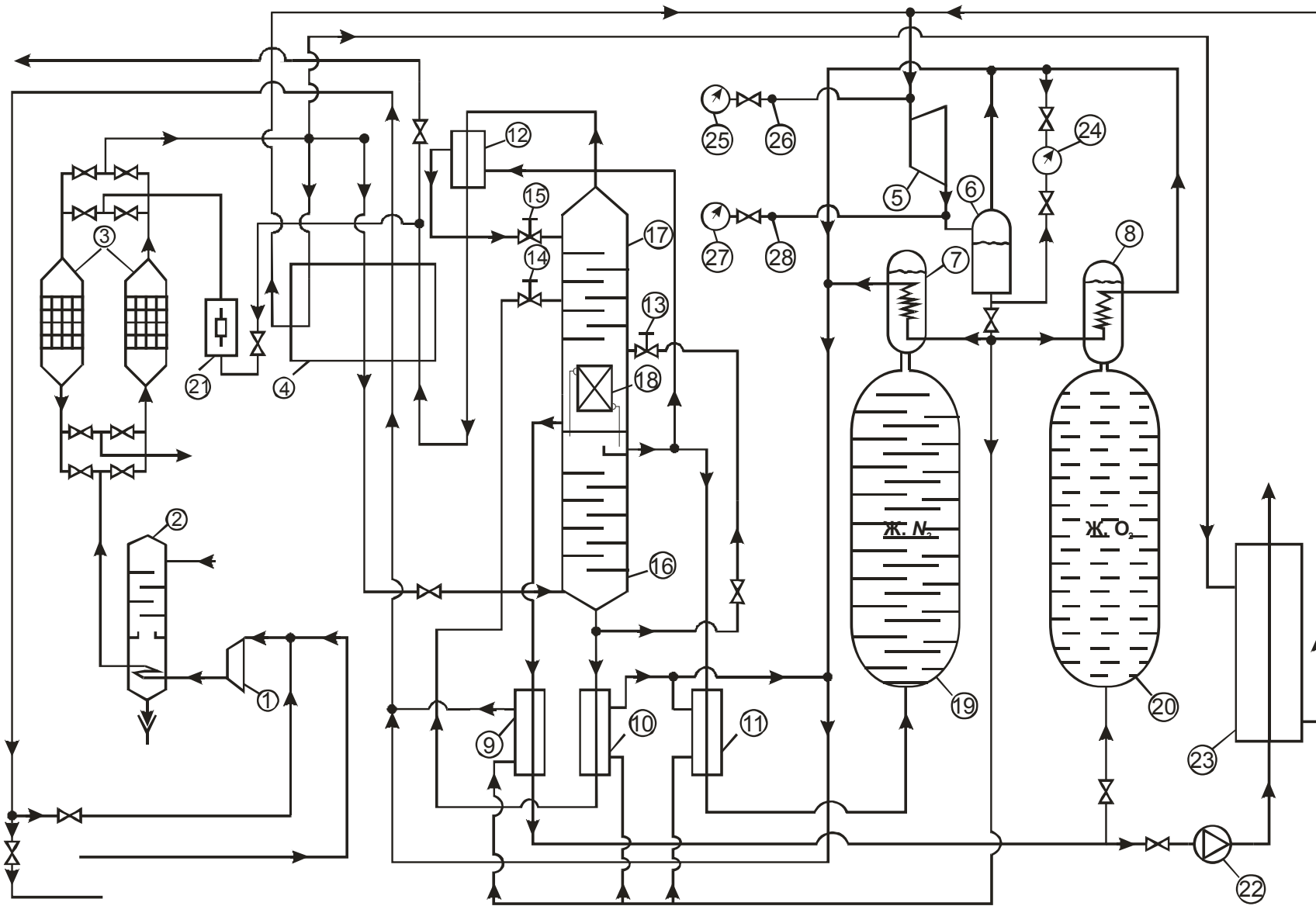
Авторы:

## Реферат

### Установка для получения холода

Полезная модель относится к криогенной технике и, в частности, к криогенным компрессорно-детандерным газожидкостным воздухоразделительным установкам.

Содержит нижнюю 16 и верхнюю 17 ректификационные колонны, конденсатор-испаритель 18, теплообменники-охладители 9, 10, 11 и 12, дроссели 13, 14 и 15, производственный криогенный сосуд азота 19 с погружным теплообменником-охладителем 7, производственный криогенный сосуд кислорода 20 с погружным теплообменником-охладителем 8 и последовательно соединенные между собой воздушный компрессор 1, водяной скруббер 2, адсорбционный блок комплексной очистки воздуха 3, основной рекуперативный теплообменник 4, влажно-паровой детандер 5 и детандерный сборник-отделитель жидкости 6, а также содержит электронагреватель 21, насос жидкого кислорода 22, теплообменник-испаритель 23, дифференциальный манометр 24 и блоки измерений давления 25 и 27 и температуры 26 и 28, что обеспечивает повышение экономичности и удельной холодопроизводительности.



Фиг. 2

Авторы:



