



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР  
ПО ДЕЛАМ ИЗОБРЕТЕНИЙ И ОТКРЫТИЙ

# ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

## К ПАТЕНТУ

ВСЕСОЮЗНАЯ

13 ПЕРИОД 13  
ТЕА

БИБЛИОТЕКА

(21) 3222450/23-26

(22) 11.12.80

(31) 7930489

(32) 12.12.79

(33) FR

(46) 23.11.87. Бюл. № 43

(71) Компани Франсэз д'Этюд э де Кон-  
струксьон "ТЕКНИП" (FR)

и ШАМПРОГЕТТИ, С.п.А (It)

(72) Анри Парадовски (FR) и Энцо  
Каетани (It)

(53) 621.59(088.8)

(56) Патент Англии № 1515326,  
кл. F 4 P, 1978.

(54)(57) 1. СПОСОБ СЖИЖЕНИЯ ГАЗА с низ-  
кой точкой кипения путем теплообмена по  
крайней мере с частью потока легкого  
основного хладагента, предваритель-  
но охлажденного по крайней мере до  
частичного его сжижения путем тепло-  
обмена с тяжелым, вспомогательным  
хладагентом, при этом потоки вспомо-  
гательного и основного хладагентов  
образуют охлаждающий каскад и состо-  
ят из многокомпонентной смеси газов  
с соответственно понижающейся лету-  
честью, циркуляцию каждого хладаген-  
та проводят в замкнутых контурах,  
где хладагенты в газообразном состо-  
янии последовательно сжимают в не-  
сколько ступеней с повышением давле-  
ния и межступенчатый и концевым ох-  
лаждением и частичной конденсацией  
при помощи постороннего теплоносите-  
ля, охлаждают с полным ожижением и  
переохлаждением за счет образования  
обратного потока уже охлажденного и  
сдросселированного до низкого давле-  
ния хладагента при одновременном

теплообмене основного и вспомога-  
тельного хладагентов соответственно с по-  
током сжижаемого газа и потоком ос-  
новного хладагента для их по край-  
ней мере частичного сжижения, после  
чего образовавшийся пар хладагентов  
низкого давления вновь подают на  
сжатие, сжижаемый газ первоначально  
охлаждают и осушают путем теплооб-  
мена с потоком пара низкого давления,  
отличающийся тем, что,  
с целью повышения эффективности  
способа за счет повышения энергетиче-  
ского КПД и устранения гидратооб-  
разования, сжатие вспомогательного  
хладагента осуществляют с последова-  
тельным увеличением его количества  
от ступени к ступени до сжатия все-  
го потока, при этом после предпослед-  
ней ступени поток сепарируют на жид-  
кую и газообразную фазы, которые по-  
рознь сжимают, и часть жидкой фазы  
после дросселирования смешивают с  
газовой фазой и образовавшийся сме-  
шанный поток после охлаждения внеш-  
ним теплоносителем разделяют на две  
части, первую из которых дросселиру-  
ют до промежуточного давления, на-  
правляют на дополнительное предвари-  
тельное охлаждение и осушку сжижа-  
емого газа и возвращают на стадию  
сепарации, а вторую - охлаждают и  
сжижают посредством образования об-  
ратного потока уже охлажденной и  
сдросселированной до давления, мень-  
шего, чем промежуточное, частью хлад-  
агента при одновременном дополни-  
тельном теплообмене с потоком сжато-  
го в последней ступени основного  
хладагента, и оставшуюся часть от-

сенарированной жидкой фазы дросселируют и смешивают с первой частью смешанного потока перед дополнительным охлаждением и осушкой.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что при охлаждении и сжижении второй части смешанного потока обратный поток разделяют и дросселируют соответственно до низкого и до среднего, но меньшего промежуточного, давлений, после чего образовавшийся пар низкого и сред-

него давлений направляют на соответствующие ступени сжатия.

3. Способ по пп.1 и 2, отличающийся тем, что одновременно с дополнительным охлаждением и осушкой сжижаемого газа организуют обратный поток из первой части смешанного потока с его дросселированием до среднего давления и последующим смешением его с паром среднего давления перед сжатием.

1

Изобретение касается способа охлаждения газа до низкой температуры и особенно сжижения природного или синтетического газа с низкой точкой кипения, такого, например, как газ с большим содержанием метана.

Цель изобретения - повышение эффективности за счет повышения энергетического КПД и устранения гидратообразования.

На фиг.1 показан вариант реализации способа сжижения газа, например природного, с помощью конденсации вспомогательного хладагента при промежуточном и высоком давлении и с помощью дросселирования последнего при промежуточном и низком давлении; на фиг.2 - вариант, в котором вспомогательный хладагент дросселируют при трех различных давлениях - низком, среднем и промежуточном; на фиг.3 - вариант с тремя различными давлениями дросселирования согласно фиг.2, в котором основной хладагент охлаждают и сжижают по крайней мере частично в две последовательные стадии посредством тепловых обменов со вспомогательным хладагентом; на фиг.4 - вариант согласно фиг.2 предварительного охлаждения сжижаемого газа вспомогательным хладагентом с дросселированием до промежуточного давления; на фиг.5 - вариант согласно фиг.3 предварительного охлаждения сжижаемого газа вместе со вспомогательным хладагентом этого расширенного вспомогательного охлаждающего потока во внутрен-

2

нем пространстве оболочки соответствующего теплообменника с сопутствующим испарением в этом пространстве.

Основной хладагент, являющийся более легким, может быть например, следующей многокомпонентной смесью, мол. %:

Азот	0-10
Метан	30-60
Этилен или этан	30-60
Пропилен, пропан, бутан и менее летучие	0-20

Вспомогательный хладагент, являющийся более тяжелым, может быть, например, следующей многокомпонентной смесью, мол. %:

Метан	0-15
Этилен или этан	30-65
Пропилен или пропан	10-60
Изобутан или бутан и менее летучие	0-30

Способ осуществляется следующим образом.

Сжижаемый газ, например природный, в относительно сухом состоянии, поступающий по трубопроводу 1 при температуре, например, 20°C и абсолютном давлении, например, около 45 бар проходит по каналу 2 теплообменника 3 для предварительного охлаждения в нем путем теплового обмена с легким основным хладагентом.

том, циркулирующим в канале 4 того же самого теплообменника, в направлении, противоположном направлению потока газа в канале 2. Выходя из теплообменника 3 через трубопровод 5, газ имеет температуру около  $-60^{\circ}\text{C}$  и абсолютное давление около 44 бар, и затем он проходит через устройство 6 обработки, направляясь затем через трубопровод 7 на вход канала 8 в последовательных секциях 9 и 10 теплообменника 11, чтобы там быть соответственно полностью сжижаемым и переохлажденным в результате теплового обмена с основным хладагентом. На выходе теплообменника 11 сжиженный газ имеет температуру около  $-160^{\circ}\text{C}$  и абсолютное давление около 40 бар, затем он расширяется в дроссельном клапане 12 и транспортируется по трубопроводу 13 в место консервации или хранения сжиженного природного газа или в место обработки или использования последнего.

Основной хладагент подается полностью в парообразном или газообразном состоянии при температуре около  $5^{\circ}\text{C}$  и низком абсолютном давлении, например около 3 бар, на первую ступень 14 сжатия, откуда он нагнетается при промежуточном давлении через межступенчатое охлаждающее устройство 15 и подается на вторую ступень 16 сжатия, которая повышает его давление, поддерживая в газообразном состоянии, до высокого абсолютного давления, например около 30 бар, пропуская через конечное охлаждающее устройство 17, откуда он выходит, предпочтительно оставаясь в газообразном состоянии, при температуре, например,  $35^{\circ}\text{C}$ . Межступенчатое и конечное охлаждение осуществляют посторонним теплоносителем. Затем он попадает в канал 18 теплообменника 19, где основной хладагент охлаждается в результате теплового обмена со вспомогательным хладагентом, чтобы по крайней мере частично быть сжиженным. Основной хладагент, по крайней мере частично конденсированный при температуре около  $-65^{\circ}\text{C}$  и абсолютном давлении около 29 бар, составляет теплообменник 19 в виде смеси фаз соответственно газообразной и жидкостной, которые затем разделяются в сепараторе 20. Газообразная фаза отводится по трубопроводу 21 в

участок канала 22, расположенного в секции 9 теплообменника 11, чтобы быть там сжиженной, затем эта сжиженная часть переохлаждается в участке канала 22, помещенного в секции 10 теплообменника 11, откуда эта переохлажденная часть выходит по трубопроводу 23 при температуре около  $-160^{\circ}\text{C}$  и абсолютном давлении около 23 бар, проходя затем через дроссельный клапан 24 для расширения. Это расширение охлаждает эту часть фазы до температуры, например, около  $-163^{\circ}\text{C}$ , понижая абсолютное давление, например, примерно до 4 бар, затем эта расширенная часть фазы отводится по трубопроводу 25 в распределительное устройство 26, где сдросселированная часть фазы распыляется в теплообменник 11, в его межтрубное пространство, образуя обратный поток. Таким образом, основной хладагент протекает в виде обратного потока (пара низкого давления), омывая каналы 8, 22 и 27 теплообменника 11, при этом он продолжает испаряться в результате прямого контакта со вспомогательным хладагентом, и находясь в противотоке по отношению к потокам, соответственно транспортируемым в этих каналах теплообменника.

Таким образом, легкий основной хладагент циркулирует по следующему заданному контуру охлаждающего каскада: ступени 14 и 16 сжатия - теплообменник 19 - теплообменник 11 - теплообменник 3 и вновь ступени 14 и 16 сжатия и т.д.

Жидкая фаза основного хладагента, отсепарированная в сепараторе 20, направляется по трубопроводу 28 в канал 27 секции теплообменника 11, чтобы быть там переохлажденной до температуры около  $-135^{\circ}\text{C}$  и иметь абсолютное давление около 28 бар, и она выходит из секции 9 по трубопроводу 29, чтобы затем пройти через клапан 30 для дросселирования. Это охлаждает эту часть фазы до температуры около  $-133^{\circ}\text{C}$ , понижая ее давление до 3,7 бар, затем сдросселированный поток отводится по трубопроводу 31 в распределительное устройство 32, где он распыляется во внутреннее пространство теплообменника 11. Эта распределенная часть фазы течет затем в противотоке, т.е. в направлении,

обратном направлении течения потоков в соответствующих каналах 8, 22 и 27, омывая последние таким образом, что продолжает испаряться в результате прямого контакта, и этот пар низкого давления смешивается с паром низкого давления хладагента, поступающего из распределительного устройства 26, омывая указанные три канала теплообменника 11. Этот прямой контакт между обратным потоком пара низкого давления и указанными потоками в каналах теплообменника вызывает тепловой обмен между ними, производя таким образом, с одной стороны, энергичное переохлаждение сжижаемого газа и снижение хладагента, циркулирующего соответственно в каналах 8 и 22, расположенных в секции 10, и, с другой стороны, сжижение потоков в соответствующих каналах, размещенных в секции 9, а также переохлаждение жидкого хладагента, циркулирующего в канале 27 в той же самой секции 9.

Полностью испаренный основной хладагент, выходящий из теплообменника 11 через выпускное отверстие 33 и трубопровод 34, проходит затем через теплообменник 3 по каналу 4, циркулируя в нем в направлении, противоположном направлению потока сжижаемого природного газа в канале 2, с тем, чтобы охладить последний в результате теплового обмена. Газообразный основной хладагент, оставляющий теплообменник 3, например, при температуре  $5^{\circ}\text{C}$  и абсолютном давлении 3 бар, затем вновь всасывается ступенью 14 сжатия в целях повторения цикла охлаждения, образуя замкнутый контур каскада охлаждения.

Вспомогательный хладагент всасывается в газообразном состоянии, например, при температуре около  $30^{\circ}\text{C}$  и низком абсолютном давлении 3 бар первой ступенью 35 сжатия и сжимается до среднего давления, проходя затем через межступенчатое охлаждающее устройство 36, откуда он всасывается в газообразном состоянии второй предпоследней ступенью 37 сжатия, где сжимается до промежуточного давления, например, около 20 бар. В межступенчатом охладителе 38 сжатый вспомогательный хладагент конденсируется по крайней мере частично в смеси фаз соответственно газо-

образной и жидкостной при температуре, например, около  $-135^{\circ}\text{C}$ . Оставляя охладитель 38, вспомогательный хладагент смешивается с другой частью его самого, испаренной в большинстве своем, затем подвергается сепарации в сепараторе 39. Газообразная фаза всасывается третьей ступенью 40 сжатия, где доводится до высокого давления, например около 30 бар, и направляется в трубопровод 41. Отсепарированная жидкая фаза всасывается насосом 42, который поднимает ее давление до высокого давления, приблизительно равного давлению после третьей ступени 40 сжатия, и направляет эту сжатую жидкую фазу, например, при абсолютном давлении примерно 32 бар и температуре около  $35^{\circ}\text{C}$  в нагнетающий трубопровод 43, где большая часть отводится трубопроводом 44 через клапан 45 до трубопровода 41, чтобы смешаться с газообразным потоком, нагнетаемым ступенью 40 сжатия, в то время как другая часть, меньшая, в трубопроводе 43 дросселируется в жидком состоянии (без изменения фазы) в дросселе 46 до промежуточного давления 20 бар. Смесь фаз высокого давления соответственно газообразной и жидкостной в трубопроводе 41 поступает затем в конечный охладитель 47 для сжижения там в большинстве своем. Межступенчатые и конечный охладитель работают на постороннем теплоносителе. Сжиженный таким образом поток в большей своей части выходит из охладителя 47 по трубопроводу 48 и разделяется в точке 49 ответвления на две части: одна часть протекает по каналу 50 теплообменника 19, где последовательно полностью сжимается, затем переохлаждается в результате теплового обмена по крайней мере с частью ее самой, т.е. при образовании обратного потока, в то время, как другая часть, текущая по трубопроводу 51, проходит через дроссель 52, где дросселируется до промежуточного давления около 20 бар, что вызывает ее сопутствующее частичное испарение. Переохлажденный хладагент в канале 50 теплообменника 19 оставляет последний через трубопровод 53 при температуре около  $-65^{\circ}\text{C}$  и абсолютном давлении около 28 бар и проходит через дроссель

54, где расширяется. Это расширение его охлаждает до температуры около  $-70^{\circ}\text{C}$ , понижая его давление до давления, меньшего промежуточного, например до 3,5 бар, затем этот поток поступает в распределительное устройство 55, где он распыляется форсунками во внутреннем пространстве теплообменника 19, образуя обратный поток. Обратный поток осуществляет дополнительный теплообмен с потоком сжатого в последней ступени 17 сжатия основного хладагента, протекающего в канале 18, и потоком вспомогательного хладагента в канале 50, омывая одновременно эти два канала потока в противотоке. Происходит тепловой обмен между потоками, транспортируемыми соответственно в каналах 18 и 50 и обратным потоком, распределенным во внутреннем пространстве теплообменника 19, который продолжает испаряться в результате сопутствующего нагревания, в то время как соответствующие потоки в каналах 18 и 46 охлаждаются, что вызывает по крайней мере частичное сжижение основного хладагента, циркулирующего в канале 18, и последовательно полное ожигение и затем переохлаждение вспомогательного хладагента, циркулирующего в канале 50. Вспомогательный хладагент, испаренный во внутреннем пространстве теплообменника 6, выпускается из последнего через выходное отверстие 56 при температуре около  $30^{\circ}\text{C}$  и давлении около 3 бар, поступая по трубопроводу 57 на вход первой ступени 35 сжатия, обеспечивая таким образом повторение цикла охлаждения, т.е. замкнутый контур охлаждающего каскада.

Сдресселированная жидкая фаза вспомогательного хладагента после дросселя 46 смешивается в точке 58 с частично испаренной частью потока, выходящей из дросселя 52, после чего эта смесь газообразной и жидкостной фаз проходит через теплообменник 59, где происходит тепловой обмен между вспомогательным хладагентом и сжижаемым влажным природным газом, протекающим по каналу 60, циркулируя в нем в направлении, обратном направлению течения вспомогательного хладагента. Сжижаемый влажный природный газ поступает в теплообменник 50 по трубопроводу 61

при температуре около  $35^{\circ}\text{C}$  и абсолютном давлении около 48 бар на предварительное дополнительное охлаждение и осушку, затем оставляет теплообменник 59 по трубопроводу 62 при температуре около  $20^{\circ}\text{C}$  и абсолютном давлении около 47 бар и в относительно сухом состоянии, чтобы затем быть высушенным еще больше, и затем поступает во впускной трубопровод 1 (его давление тогда понижается до 45 бар по причине понесенных потерь нагрузки). В теплообменнике 59 вспомогательный хладагент нагревается в результате теплового обмена с сжижаемым влажным природным газом, оказываясь таким образом частично испаренным, и он оставляет теплообменник 59 при температуре около  $30^{\circ}\text{C}$  и давлении 20 бар для соединения через трубопровод 63 в точке 64 с потоком вспомогательного хладагента после предпоследней ступени 37 сжатия и охладителя 38, чтобы эта смесь, состоящая соответственно из газообразной и жидкостной фаз, возвратилась на стадию сепарации в сепараторе 39 в целях повторения каскада охлаждения в замкнутом контуре.

Рециркуляция жидкой части вспомогательного хладагента при высоком давлении, создаваемом насосом 42, в трубопроводе 43 позволяет избежать образования и осаждения гидратов в сжижаемом влажном природном газе во время его прохождения через теплообменник 59 благодаря поддержанию температуры вспомогательного хладагента, несмотря на его дросселирование в дросселе 52 по отношению к жидкой части, поступающей по трубопроводу 43.

Теплообменники 11 и 19 состоят, например, из намотанных пучков труб, тогда как теплообменник 3 является, например, пластинчатого типа. Теплообменник 19 также может быть пластинчатого типа.

На выходе дросселя 54 трубопровод 65 соединяется с каналом 66 испарения теплообменника 19, размещенным между трубопроводами 65 и 57. В теплообменнике 19 образован дополнительный канал 67 испарения, конец которого внизу по течению соединен с помощью трубопровода 68 со всасывающим отверстием второй ступени 37 сжатия, и его конец сверху соединя-

ется с помощью трубопровода 69 с выходом другого устройства дросселирования, например дросселя 70, вход которого соединен посредством трубопровода 71 в промежуточной точке 72 трубопровода 53, расположенного между дросселем 54 и каналом 50.

На выходе межступенчатого охлаждающего устройства 36 между первой и второй ступенями 35 и 37 сжатия трубопровод 73 соединен в промежуточной точке 74 трубопровода 68 между каналом 67 испарения и второй ступенью 37 сжатия.

Количественный молярный состав тяжелого вспомогательного хладагента может быть, например, изменен следующим образом, %:

Метан	0-10
Этилен или этан	30-70
Пропилен или пропан	10-60
Изобутан или нормальный бутан и менее летучие углеводороды	0-20

При этом переохлажденный жидкий вспомогательный хладагент, циркулирующий в трубопроводе 53, разделяется в точке 72 на два частичных параллельных потока, из которых первый проходит через дроссель 54 для расширения в нем, охлаждаясь таким образом до температуры около  $-70^{\circ}\text{C}$  и имея абсолютное давление до 3 бар, затем он проходит через канал 66 для дальнейшего испарения в нем благодаря тепловому обмену в противотоке с потоками, циркулирующими соответственно в каналах 18 и 50, и выходит из теплообменника 19 через трубопровод 57 при температуре около  $30^{\circ}\text{C}$  и давлении около 2,5 бар. Другой частичный поток, текущий по трубопроводу 71, проходит через дроссель 70, где расширяется, снижая свое давление до 10 бар, затем он проходит через канал 67 для дальнейшего испарения в нем благодаря тепловому обмену в противотоке с хладагентами соответственно основным и вспомогательным, циркулирующими соответственно в каналах 18 и 50. Этот другой частичный поток, полностью испаренный, составляет канал 67 через трубопровод 68 при температуре около  $30^{\circ}\text{C}$  и давлении около 3 бар, соответствующем

давлению нагнетания первой ступени 35 сжатия в трубопроводе 73. В точке 74 он смешивается с газообразным вспомогательным хладагентом, выходящим из межступенчатого охладителя 36, затем объединенные таким образом оба газообразных потока всасываются второй ступенью 37 сжатия.

Таким образом, в этом примере реализации вспомогательный хладагент испаряется при трех различных давлениях, которыми соответственно являются низкое давление, существующее на всасывании первой ступени 35 сжатия, среднее давление между первой и второй ступенями 35 и 37 и промежуточное давление между ступенями 37 и 40 сжатия.

Основной хладагент может вместо того, чтобы подвергаться единичному предварительному охлаждению благодаря тепловому обмену с вспомогательным хладагентом в единственном теплообменнике 19, подвергается двум последовательным охлаждениям благодаря последовательным тепловым обменам в двух теплообменниках 75 и 76, в которых соответствующие каналы 77 и 78 основного хладагента соединяются последовательно промежуточным трубопроводом 79 и конец внизу по течению канала 78 потока соединяется с трубопроводом 80, ведущим в сепаратор 20. Каналу 50 вспомогательного хладагента теплообменника 19 не соответствует в данном варианте канал 81 первого теплообменника 75, тогда как после точки 72 трубопровод 53 соединен с каналом 82, расположенным во втором теплообменнике 76, и соединяется с помощью трубопровода 83 с входом дросселя 54. Исходя из того, что соответствующие испарения жидкого вспомогательного хладагента, расширенного в дросселях 54 и 70 при двух различных давлениях соответственно низком и среднем, непрерывно имеют место в двух отдельных теплообменниках 75 и 76, трубопроводы 65 и 69 для соответствующих частичных потоков расширенного вспомогательного хладагента могут здесь быть соединены соответственно с распределительными устройствами, например форсунками 84 и 85, выходящими соответственно во внутренние пространства теплообменников 76 и 75

(хотя по крайней мере один или каждый из трубопроводов 65 и 69 может быть соединен с каналом испарения, расположенным в соответствующих теплообменниках 76 и 75).

Охлаждающие потоки (легкий основной и тяжелый вспомогательный) по существу каждый имеет тот же количественный и качественный относительный состав, что и в предыдущем случае.

Вспомогательный хладагент, оставляющий в жидком переохлажденном состоянии канал 81 теплообменника 75 через трубопровод 53, имеет температуру около  $-10^{\circ}\text{C}$  и абсолютное давление около 29 бар. Расширенный частичный поток, поступающий из дросселя 70 по трубопроводу 69, имеет температуру около  $-16^{\circ}\text{C}$  и абсолютное давление около 10 бар, этот поток распределяется форсунками 85 во внутреннее пространство теплообменника 75, где он продолжает испаряться в результате теплового обмена благодаря прямому контакту в противотоке с соответствующими потоками, циркулирующими в каналах 77 и 81, и выходит через отверстие 86 кожуха этого теплообменника при температуре около  $30^{\circ}\text{C}$  и давлении около 9 бар. Другой частично жидкий переохлажденный поток вспомогательного хладагента, выходящий из точки 72, проходит по каналу 82 в теплообменник 76, чтобы еще больше там переохладиться, и оставляет этот канал потока через трубопровод 83 при температуре около  $-65^{\circ}\text{C}$  и абсолютном давлении около 28 бар, чтобы затем подвергнуться расширению в дросселе 54, имея таким образом пониженную температуру, например около  $-70^{\circ}\text{C}$ , и пониженное абсолютное давление (около 3 бар). Этот расширенный частичный поток затем распределяется в точке 74 во внутреннее пространство теплообменника 76, где он продолжает испаряться в результате теплового обмена с потоками, циркулирующими соответственно в каналах 78 и 82, еще более охлаждая тем самым эти потоки. Этот второй частичный поток, испаренный таким образом, покидает внутреннее пространство теплообменника 76 через выпускное отверстие 87 в кожухе теплообменника 76, поступая в трубопровод 57 при температуре около  $-15^{\circ}\text{C}$

и низком абсолютном движении около 2,5 бар. Газообразный вспомогательный хладагент низкого давления в трубопроводе 57, который поступает на всасывание первой ступени 35, является более холодным, т.е. температура более низкая ( $-15^{\circ}\text{C}$ ), чем в случае предыдущего варианта реализации (где его температура составляет примерно  $30^{\circ}\text{C}$ ). При этом на каждую ступень сжатия поступает постоянно увеличивающееся количество хладагента при соответствующем давлении.

Следующий вариант реализации отличается от предыдущего тем, что присоединяется криогенный теплообменник 88 предварительного охлаждения относительно сухого сжимаемого природного газа, который (теплообменник) установлен во впускном трубопроводе 1 газа перед криогенным теплообменником 3 охлаждения газа. Этот теплообменник 88 предварительного охлаждения газа, который является пластинчатым типом, содержит по крайней мере один канал 89 для прохода газа, соединенный своим концом с трубопроводом 1 и своим противоположным концом с помощью соединительного трубопровода 90 с входом канала 2 криогенного теплообменника 3 охлаждения газа. Кроме того, теплообменник 88 содержит по крайней мере один канал 91 и один канал 92 испарения для вспомогательного хладагента, расположенный по крайней мере приблизительно параллельно направлению канала 82 и взаимно соединенный последовательно. Канал 91 соединен своим входным концом с помощью трубопровода 93 с промежуточной точкой 94 трубопровода 43, расположенной между каналом 50 и точкой 49. Противоположный конец канала 91 соединен с помощью трубопровода 95 с входом устройства расширения типа дросселя 96, выход которого соединен с помощью трубопровода 97 с входом канала 92 испарения, противоположный конец которого соединен с помощью трубопровода 98 с всасывающим отверстием второй ступени 38 сжатия, в промежуточных точках 73 и 99 этого трубопровода 98 ответвляются соответственно трубопровод 73 у выхода межступенчатого охлаждающего устройства 36 и трубопровод 68.

Хладагенты соответственно легкий основной и тяжелый вспомогательный имеют здесь, например, те же по существу относительные качественные и количественные составы, что и соответствующие хладагенты в примере реализации, представленном на фиг.2.

Сжижаемый газ в относительно сухом состоянии примерно при температуре около  $20^{\circ}\text{C}$  и абсолютном давлении около 45 бар поступает по трубопроводу 1 и проходит по каналу 89 теплообменника 88 предварительного охлаждения, где этот газ предварительно охлаждается, имея пониженную температуру, например около  $-15^{\circ}\text{C}$  (при соответствующем давлении, например около 44,5 бар), в результате теплового обмена со вспомогательным хладагентом, протекающим в том же теплообменнике 88 предварительного охлаждения. Предварительно охлажденный таким образом газ поступает по трубопроводу 90 в криогенный теплообменник 3 охлаждения, начиная с которого его физическое и термодинамическое развитие такое же, как это было описано.

Часть сжиженного вспомогательного хладагента, поступающая по крайней мере в большей части по трубопроводу 48, после точки 49 отводится в точке 94 трубопроводом 93 и проходит по каналу 91 теплообменника 88 предварительного охлаждения, где эта часть последовательно полностью сжижается и затем переохлаждается в результате теплового обмена по крайней мере с частью ее самой. Эта жидкая переохлажденная часть оставляет канал 91 через трубопровод 95, имея температуру около  $-15^{\circ}\text{C}$  и абсолютное давление около 29 бар, затем проходит через дроссель 96, где подвергается расширению, что ее охлаждает до температуры около  $-20^{\circ}\text{C}$ , понижая ее абсолютное давление до примерно 10 бар. Расширенная таким образом часть вспомогательного хладагента выходит из дросселя 96 через трубопровод 97 для прохода по каналу 92, где эта часть полностью испаряется в результате теплового обмена в противопотоке с потоками, циркулирующими соответственно в канале 89 и в канале 91, что вызывает, с одной стороны, предварительное дополнительное охлаждение сжижаемого природного га-

за в канале 89 и, с другой стороны, полное сжижение и переохлаждение части вспомогательного хладагента, циркулирующего в канале 91.

Таким образом, полностью выпаренная часть вспомогательного хладагента выходит из теплообменника 88 через трубопровод 98 с температурой около  $30^{\circ}\text{C}$  и среднем давлении около 9 бар, чтобы затем смешиваться в точках 99 и 74 с выпаренными частями вспомогательного хладагента, поступающими соответственно по трубопроводам 68 и 73, затем потоки объединенных таким образом газообразного и вспомогательного хладагентов всасываются ступенью 37 сжатия.

Данная схема (фиг.4) демонстрирует разделение компрессионной мощности между контуром основного хладагента и контуром вспомогательного хладагента, и может быть выгодным загрузить один из этих двух контуров больше, чем другой. В данном случае компрессионная мощность является одинаковой в этих двух контурах, но контур вспомогательного хладагента, например, более загруженный, чем в варианте реализации, представленном на фиг.2. В качестве примера схема согласно фиг.4 может содержать отдельный привод для ступени 14 сжатия, отдельный привод для ступени 15 сжатия, отдельный привод для ступени 35 сжатия и общий привод для двух ступеней 37 и 40 сжатия (которые тогда механически соединяются с помощью их соответствующих валов).

Образованный канал 92 в теплообменнике 88 предварительного охлаждения может быть при необходимости замкнут внутренним пространством, ограниченным кожухом или камерой теплообменника 88, и тогда трубопровод 97 соединяется с распределительным устройством с помощью форсунок, установленных в теплообменнике и выходящих непосредственно во внутреннее пространство таким образом, что вспомогательный хладагент протекает в этом внутреннем пространстве в противотоке по отношению к потокам, соответственно транспортируемым в каналах 89 и 91, омывая последние благодаря прямому контакту.

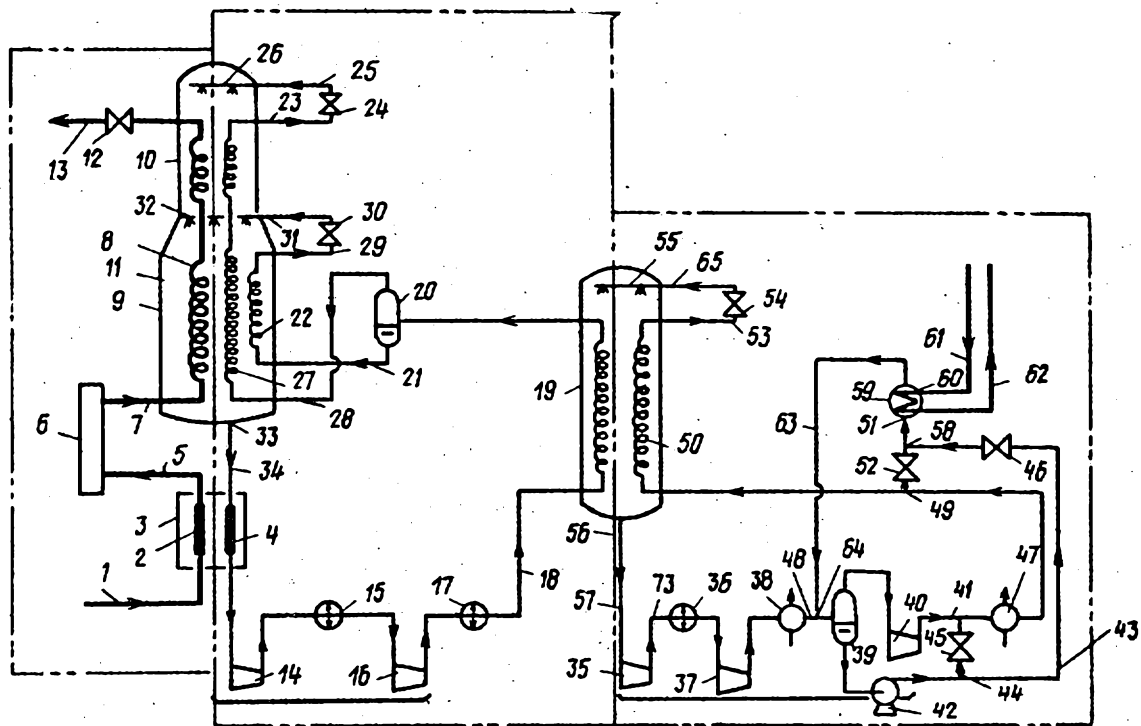
Схема, представленная на фиг.5, вытекает из схемы на фиг.3 и отличается от последней присоединением кри-

огенного теплообменника 88 предварительного охлаждения газа, как в случае на фиг.4, но в этом случае пластинчатый тип теплообменника на фиг.4 заменен теплообменником в виде скрученных пучков труб. Расширенный до среднего давления вспомогательный хладагент, распределенный во внутреннем пространстве теплообменника 88 распределительным устройством 100, течет тогда в направлении, обратном общему направлению течения (т.е., организуется обратный поток) соответствующих потоков в каналах 89 и 91, омывая последние благодаря прямому контакту, где тепловой обмен продолжает испарение потока вместе с сопровождающимся охлаждением сжиженного природного газа в канале 89 и вспомогательного хладагента в канале 91. Вспомогательный хладагент, выпаренный таким образом полностью (т.е. пар среднего давления) во внутреннем пространстве теплообменника 88, оставляет последний через отверстие 101 в кожухе

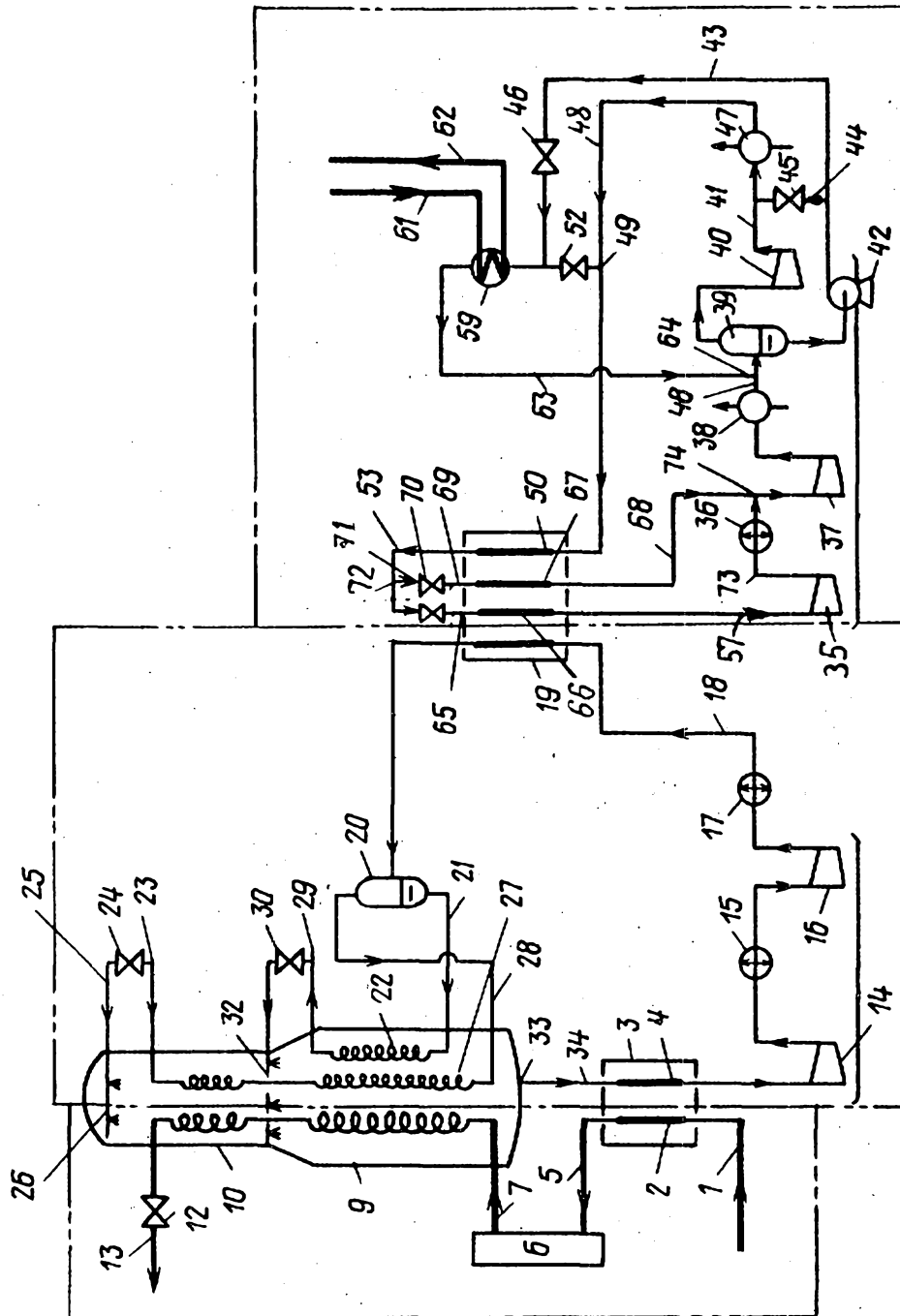
теплообменника 88 и затем транспортируется по трубопроводу 98, как было описано. Относительно сухой природный газ поступает сюда через трубопровод 90 при температуре около  $20^{\circ}\text{C}$  и абсолютном давлении около 46 бар, и он дополнительно охлаждается в теплообменнике 88 до температуры, например,  $-15^{\circ}\text{C}$  при давлении около 45 бар.

Обратный поток смешивается затем с паром, поступающим на вторую ступень 37 сжатия.

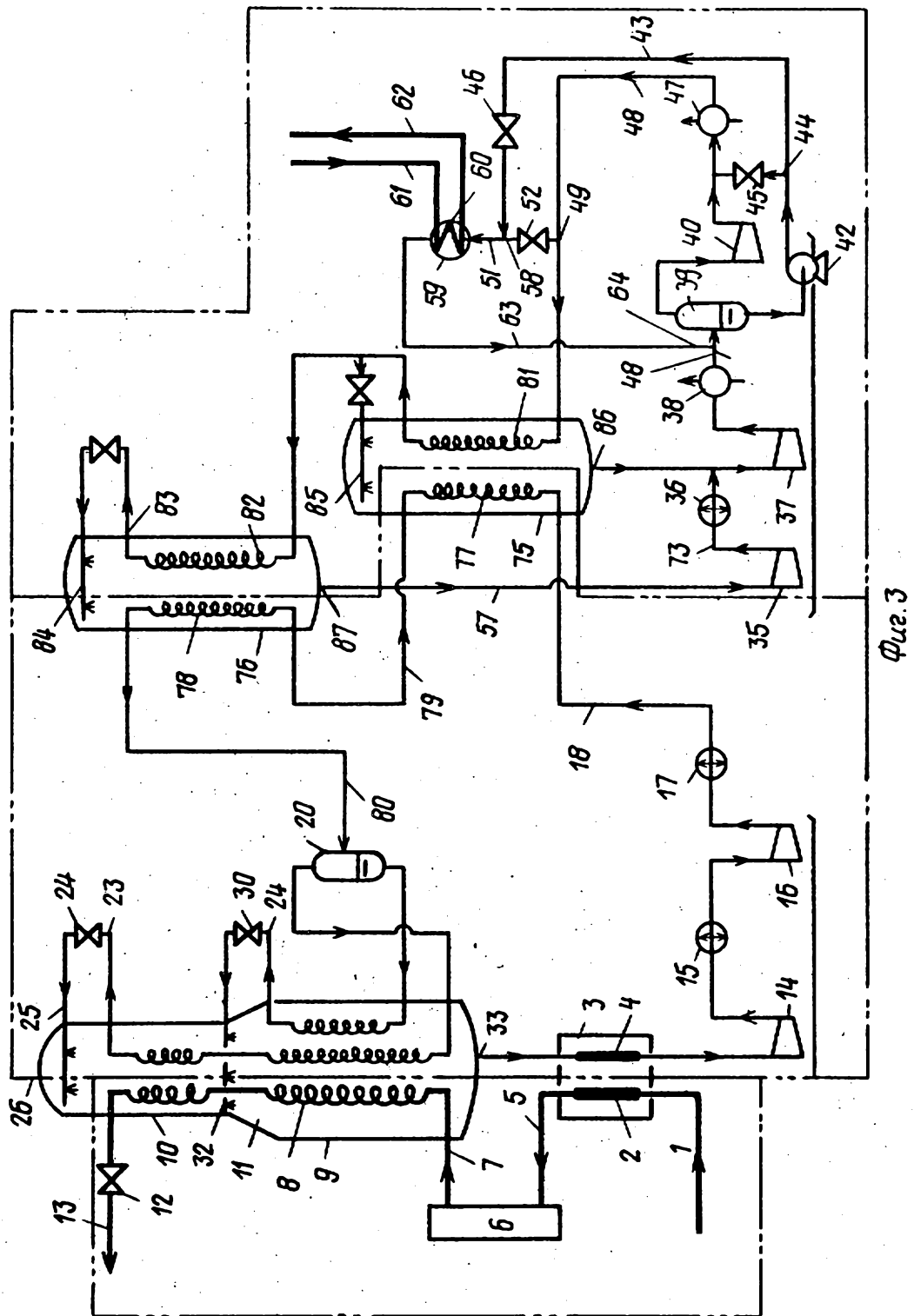
Экономия энергии в данном способе возникает вследствие того, что в каскаде вспомогательного хладагента сжимается не весь его поток, а его части в различных ступенях сжатия, и общая потребляемая мощность уменьшается. Кроме того, более совершенный энергетический цикл, примененный в способе, позволяет более полно осушить и охладить сжимаемый газ с предотвращением образования в нем гидратов.

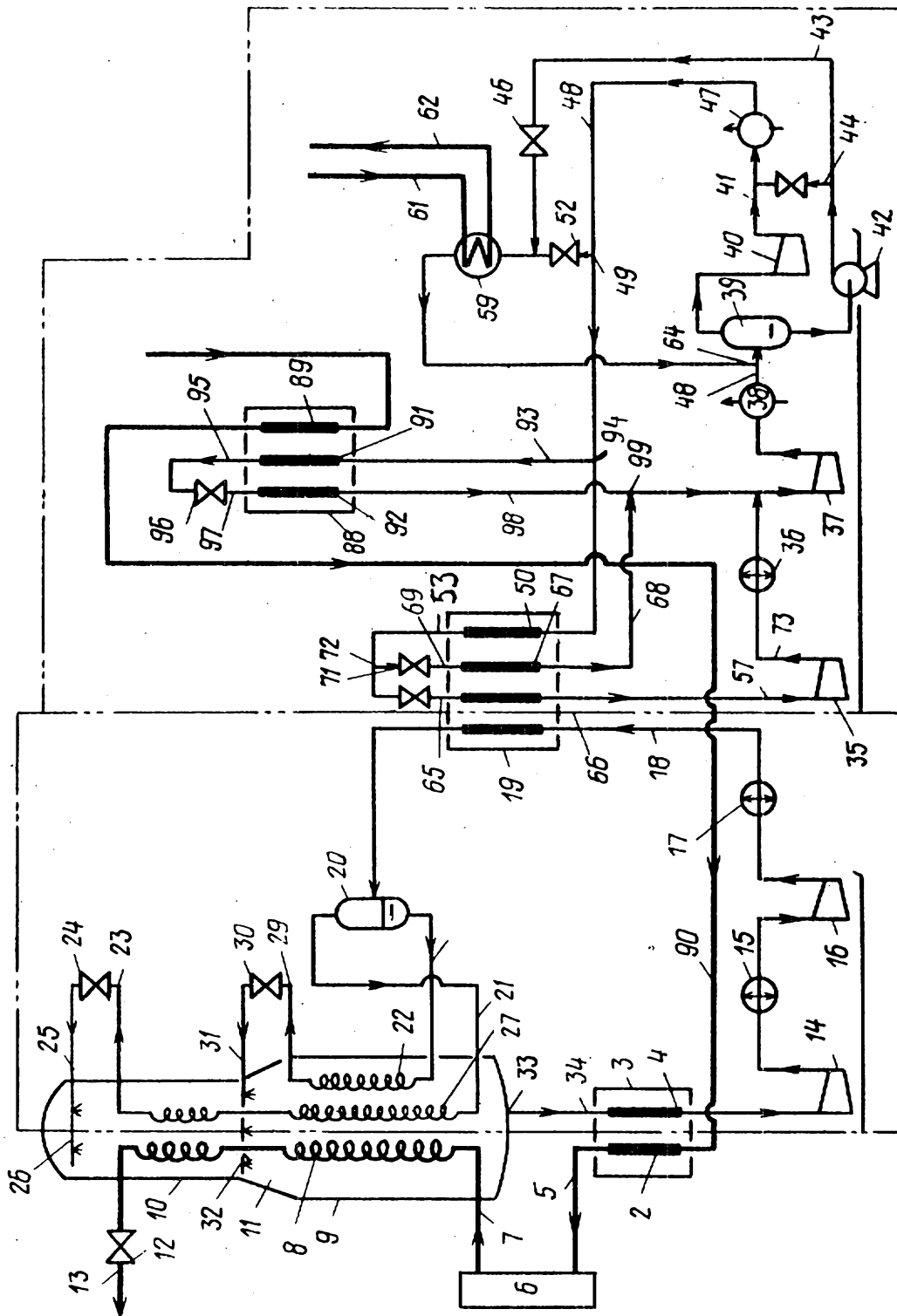


Фиг. 1

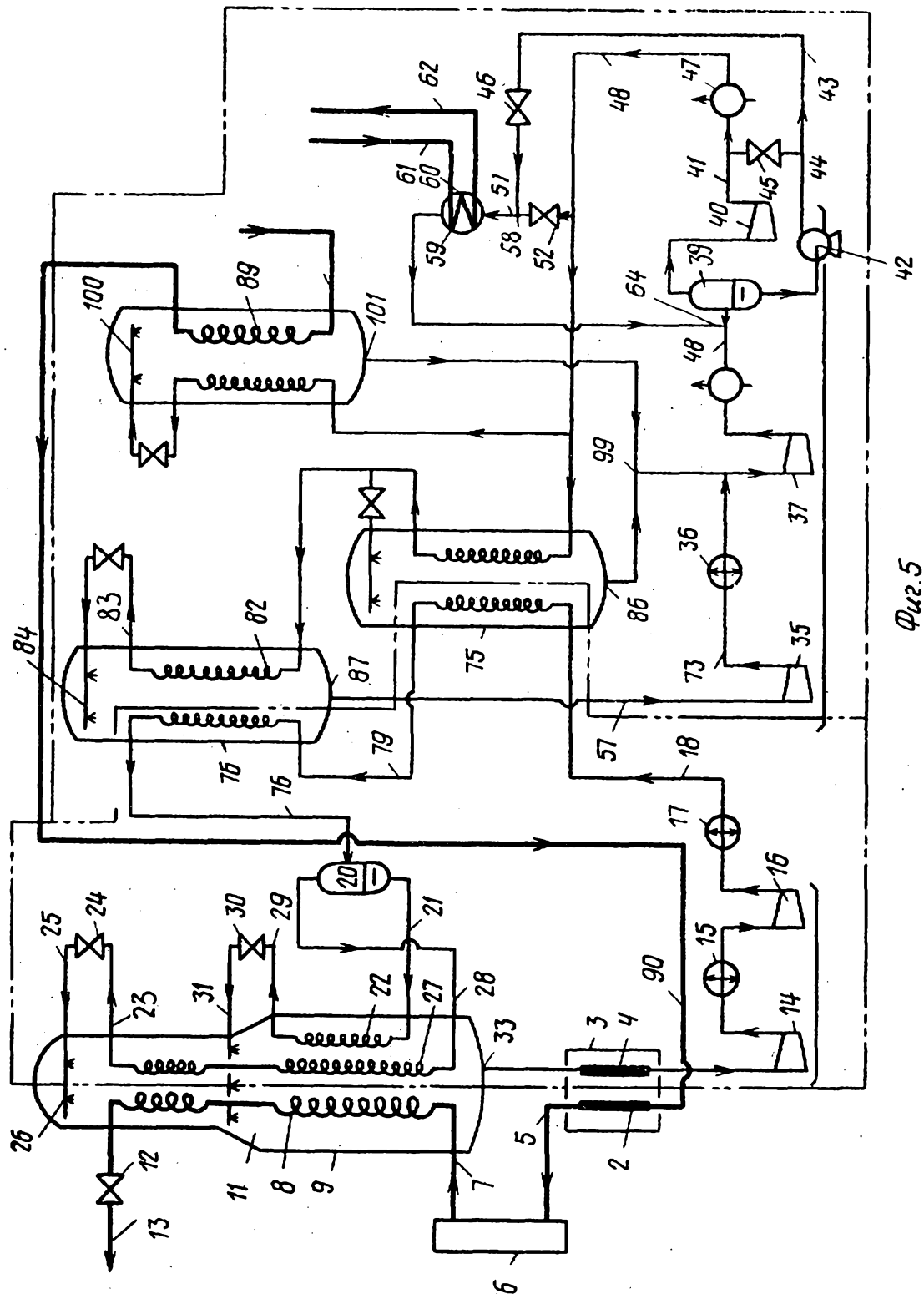


Фиг. 2





Diz. 4



Редактор С.Пекарь

Техред Л.Сердюкова

Корректор С.Шекмар

Заказ 5720/58

Тираж 476

Подписное

ВНИИПИ Государственного комитета СССР

по делам изобретений и открытий

113035, Москва, Ж-35, Раушская наб., д.4/5

Производственно-полиграфическое предприятие, г.Ужгород, ул.Проектная, 4