

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **016459**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2012.05.30

(51) Int. Cl. *F25J 3/00* (2006.01)
F25J 1/00 (2006.01)

(21) Номер заявки
201000358

(22) Дата подачи заявки
2008.07.31

(54) **УСТРОЙСТВО ДЛЯ СЖИЖЕНИЯ И СЕПАРАЦИИ ГАЗОВ**

(31) **2007131786**

(56) RU-C1-2167374
RU-C1-2143654
US-A-5306330
US-A-3528217

(32) **2007.08.22**

(33) **RU**

(43) **2010.08.30**

(86) **PCT/RU2008/000498**

(87) **WO 2009/028987 2009.03.05**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**ТРАНСЛАНГ ТЕКНОЛОДЖИЕС
ЛТД. (СА)**

(72) Изобретатель:
**Алферов Вадим Иванович, Багиров
Лев Аркадьевич, Дмитриев Леонард
Макарович, Имаев Салават
Зайнетдинович, Фейгин Владимир
Исаакович (RU)**

(74) Представитель:
Ловцов С.В. (RU)

(57) Изобретение относится к криогенной технике. Устройство для сжижения и сепарации газов или выделения одного или нескольких газов из их смеси содержит последовательно соосно установленные форкамеру (1) с размещенным в ней средством (2) для закрутки газового потока, дозвуковое или сверхзвуковое сопло (3) с пристыкованной к нему рабочей частью (4), к которой присоединено средство (5) для отбора жидкой фазы, дозвуковой диффузор (7) или комбинацию сверхзвукового (6) и дозвукового диффузора (7). Сопло (3) выполнено с соотношениями площадей поперечных сечений входа и выхода к минимальному сечению сопла, обеспечивающими на его выходе достижение статического давления и статической температуры, которые соответствуют условию конденсации газа или целевых компонент газовой смеси. Длина рабочей части (4) выбрана из условия обеспечения формирования капель конденсата с размером, превышающим 0,5 мкм, и их дрейфа под действием центробежных сил от осевой зоны рабочей части до стенок средства отбора капель, а угол раскрытия рабочей части 4 - обеспечивающим поддержание в ней условий конденсации газа или его целевых компонент. Устройство снабжено дополнительным соплом (8), установленным в форкамере. Технический результат заключается в повышении эффективности сепарации.

016459
B1

016459
B1

Изобретение относится к криогенной технике и может быть использовано в различных отраслях народного хозяйства для получения сжиженных газов, а также разделения компонентов газовых смесей или выделения одного или нескольких целевых компонентов.

Известно устройство для сжижения газа, содержащее корпус в виде рупора, в котором последовательно размещены несколько насадок, снабженные дисками с множеством сопел для адиабатического расширения газа с понижением его температуры до перехода части газа в жидкое состояние (см. JP № 07071871, F25J 1/00, 1995). Недостатком известного устройства является его относительно малый КПД.

Известно устройство для получения сжиженного газа, которое содержит сверхзвуковое сопло, использующее адиабатическое расширение газа для его охлаждения и средство для отбора жидкой фазы, выполненное в виде отогнутого к оси участка сопла с перфорированными стенками. Под воздействием возникающих при отклонении газового потока центробежных сил капли сконденсировавшегося газа проходят сквозь перфорацию и поступают в приемник (см. патент US № 3528217, НКИ 55-15, 1970).

Недостатком известного устройства является его относительно малый КПД. Это обусловлено тем, что при отклонении сверхзвукового потока, что необходимо в известном устройстве для отбора жидкой фазы, возникают ударные волны, приводящие к повышению температуры газового потока, что приводит, в свою очередь, к испарению части уже сконденсировавшихся капель.

Кроме того, имеют место потери полного давления в газе, прошедшем ударную волну. Указанные потери приводят к значительному перепаду давления между входом и выходом из устройства.

Известно устройство для сжижения газа, известное из патента RU № 2137065, F25J 1/00, 1999. Известное устройство содержит сопло с форкамерой, в которой размещено средство для закрутки газового потока. Устройство снабжено средством для отбора жидкой фазы, выполненным в виде кольцевой щели, образованной стенками сопла и полого конуса.

Недостатком известного устройства является его относительно малый КПД, что обусловлено потерей давления в газовом потоке, проходящем через устройство.

Например, при $M=3,0$, где M - число Маха сверхзвукового потока, на вход устройства подается газ с давлением 200 атм, а из устройства газ выходит с давлением 50 атм.

Наиболее близким к заявляемому по своей технической сущности и достигаемому результату является устройство для сжижения газа, известное из описания к патенту RU № 2167374, F25J 3/06, 2001. Известное устройство для сжижения газа содержит сопло с форкамерой, с размещенным в ней средством для закрутки газового потока, при этом устройство снабжено установленным на выходе из рабочей части сверхзвуковым и/или дозвуковым диффузором и средством для отбора жидкой фазы, выполненным в виде перфорации в стенках сопла и/или кольцевой щели, образованной стенками сопла и входным участком диффузора. Кроме того, дозвуковой диффузор снабжен средством для спрямления закрученного газового потока, которое установлено в дозвуковом диффузоре там, где осевая скорость потока соответствует $M=0,25-0,45$, где M - число Маха в данной среде. Изобретение позволяет повысить КПД при осуществлении процесса сжижения газа, что достигается за счет снижения перепада давления между входом и выходом устройства.

Заявляемое в качестве изобретения устройство направлено на повышение эффективности сепарации компонент газовой смеси или сжиженной части газа путем исключения эффектов, способствующих перемешиванию потока в местах отбора сепарируемых компонентов.

Указанный результат достигается тем, что устройство для сжижения и сепарации газов или выделения одного или нескольких газов из их смеси содержит последовательно соосно установленные форкамеру с размещенным в ней средством для закрутки газового потока, дозвуковое или сверхзвуковое сопло с пристыкованной к нему рабочей частью, к которой присоединено средство для отбора жидкой фазы, дозвуковой диффузор или комбинация сверхзвукового и дозвукового диффузора, при этом сопло выполнено с соотношениями площадей поперечных сечений входа и выхода к минимальному сечению сопла, обеспечивающими на его выходе достижение статического давления и статической температуры, которые соответствуют условию конденсации газа или целевых компонент газовой смеси. Длина рабочей части выбрана из условия обеспечения формирования капель конденсата с размером большим 0,5 мкм и их дрейфа под действием центробежных сил от осевой зоны рабочей части до стенок средства отбора капель, а угол раскрытия рабочей части обеспечивает поддержание в ней условий конденсации газа или его целевых компонент, при этом устройство снабжено дополнительным дозвуковым или сверхзвуковым соплом, установленным в форкамере.

Указанный результат достигается также тем, что дополнительное дозвуковое или сверхзвуковое сопло выполнено так, что соотношение площадей выходных сечений основного и дополнительного сопла составляет величину

$$\frac{F_{\text{вых. доп. сопла}}}{F_{\text{вых. основн. сопла}}} \approx 0,01+0,5$$

Указанный результат достигается также тем, что дополнительное дозвуковое или сверхзвуковое сопло установлено в форкамере соосно или не соосно основному соплу.

Указанный результат достигается также тем, что дополнительное дозвуковое или сверхзвуковое со-

пло установлено в форкамере так, что вход в него расположен перед средством для закрутки газового потока или за ним, а выход сопла - только за средством для закрутки газового потока. При этом выход дополнительного сопла может быть расположен как в форкамере, так и в дозвуковой или сверхзвуковой части основного сопла.

Указанный результат достигается также тем, что вход дополнительного сопла соединен с дополнительным источником газа.

Указанный результат достигается также тем, что устройство снабжено газожидкостным сепаратором, вход которого соединен с выходом из средства для отбора жидкой фазы, а газовый выход соединен с входом дополнительного сопла.

Указанный результат достигается также тем, что площадь входного сечения основного сопла превышает площадь его критического (минимального) сечения не менее чем в 10 раз.

Указанный результат достигается также тем, что за дозвуковым диффузором или в дозвуковом диффузоре установлено устройство, преобразующее кинетическую энергию закрученного потока в давление.

Снабжение форкамеры устройства средством для закрутки газового потока необходимо для создания в газовом потоке центробежных сил, под воздействием которых происходит отделение сконденсировавшихся капель от основного газового потока.

Использование дозвукового диффузора или комбинации сверхзвукового и дозвукового диффузоров позволяет повысить КПД устройства, так как обеспечивает уменьшение необходимого перепада давления газового потока между его входом в устройство и на выходе из него. При этом в зависимости от числа Маха (M) потока на выходе из рабочей части средство для восстановления давления выполняется в виде дозвукового диффузора или комбинации сверхзвукового и дозвукового диффузоров. Так, если используется в качестве основного дозвуковое сопло, то начальный участок после устройства для отбора жидкой фазы выполняется в виде дозвукового диффузора с углом полуоткрытия $3-6^\circ$. Если используется в качестве основного сверхзвуковое сопло, то применяется комбинация диффузоров - сверхзвукового и дозвукового, устанавливаемых последовательно по ходу потока, после устройства для отбора жидкой фазы. Вид основного сопла, дозвуковое или сверхзвуковое, выбирается в зависимости от термодинамических параметров сжижаемого газа или газовой смеси (состава, давления и температуры на входе в устройство, расхода, температуры точки росы и т.п.). Но во всех случаях основное сопло должно обеспечивать адиабатическое охлаждение газа или газовой смеси до такой степени, чтобы обеспечить переход его или его части, желательной большей, в жидкую фазу.

Средство для отбора жидкой фазы может быть выполнено в трех различных вариантах: а) в виде перфорации на стенках сопла и/или его рабочей части на тех участках, где сконденсировавшиеся капли достигают ее стенок за счет центробежных сил, вызванных закруткой потока; б) в виде кольцевой щели, образованной стенками рабочей части и входным участком диффузора, устанавливаемого на выходе рабочей части; в) в виде комбинации предыдущих двух - перфораций стенок и кольцевой щели.

Средство для отбора жидкой фазы может быть использовано в любом из трех указанных выше вариантов а), или б), или в) в зависимости от природы газа или состава газовой смеси и скорости газового потока в сопле. В некоторых случаях может являться предпочтительным выполнение средства для отбора жидкой фазы только в виде перфорации в стенках сопла и/или рабочей части. В зависимости от термодинамических параметров потока средства для отбора жидкости могут располагаться и на начальном участке дозвукового диффузора.

Если же использовать и перфорацию, и кольцевую щель, то, например, можно использовать предлагаемое устройство для сжижения многокомпонентных газов. Сначала через перфорацию в стенках сопла и/или рабочей части будет удаляться газожидкостная смесь, обогащенная компонентой, конденсирующейся при более высокой температуре, а затем через кольцевую щель - обогащенная компонентой с более низкой температурой конденсации.

Выполнение основного сверхзвукового или дозвукового сопла с соотношениями площадей поперечных сечений входа и выхода к минимальному сечению сопла, обеспечивающими на его выходе достижение статического давления и статической температуры, которые соответствуют условию конденсации газа или его целевых компонент позволяет повысить эффективность сепарации путем исключения эффектов переохлаждения или недоохлаждения газа, а также эффектов, приводящих к перемешиванию потока в месте отбора сепарируемой компоненты.

При сильной закрутке, необходимой для эффективной работы устройства, в форкамере в окрестности оси возникают возвратные и вторичные течения, формируются прецессирующие вихревые образования. Все это приводит к появлению неустойчивостей течения в тракте установки. Кроме того, в зависимости от типа закрутки, от нее в потоке возникают различного вида вихревые следы. Так, например, при установке лопаточного завихрителя возникает разрыв скорости потока на задней кромки лопатки. Аналогичный эффект имеет место и при тангенциальном способе закрутки входного потока.

Повышенная завихренность потока (вдоль линии тока за каждой лопаткой с повышенной завихренностью) приводит к возмущению потока вблизи стенок, а также и пограничного слоя; что отрицательно сказывается на процессе сепарации, вызывая перемешивание уже отсепарированных жидких компонент

с очищенным от них газом.

Для уменьшения величины возмущений, вносимых данными следами за завихрителями, целесообразно использовать эффект, названный авторами "эффект поджатия потока". Как было установлено с помощью расчетов с использованием уравнения Бернулли и проведенной затем экспериментальной проверки, что при отношении

$$\frac{F_1}{F_2} \approx 10 \div 16$$

где F_1 и F_2 соответственно площади входного и минимального (критического) сечения основного сопла, неоднородности в поле скоростей на выходе из сопла уменьшаются более чем на порядок.

Таким образом, выполнение основного сопла с определенными соотношениями площадей поперечных сечений входа и выхода к минимальному сечению сопла обеспечивает на его выходе достижение статического давления и статической температуры, которые соответствуют условиям конденсации газа или его целевых компонент и позволяет обеспечить термодинамический режим для создания нужного количества центров конденсации. Для создания нужного количества центров конденсации необходимо переохлаждение газа. Поэтому контур основного сопла выбран таким образом, что при течении газа в нем после достижения точки росы газ дополнительно расширялся бы до реализации статической температуры на 20-50°C меньшей, чем температура точки росы.

Более сильное переохлаждение, возможное при большем числе Маха (М) потока, приводит к большим потерям полного давления или, иными словами, к существенно большему перепаду давлений между входом и выходом из устройства.

Выполнение рабочей части сопла с длиной, обеспечивающей формирование капель конденсата с размером, большим 0,5 мкм, и их дрейф под действием центробежных сил от осевой зоны рабочей части до средства отбора капель, также позволяет повысить эффективность сепарации, поскольку выбор длины рабочей части определяется скоростью роста капель, зависящей от термодинамических параметров среды (температуры, парциального давления целевой компоненты, поверхностного натяжения капли и т.п.), а также газодинамическими характеристиками потока: его скоростью, спектром турбулентности, особенностями распределения давления по радиусу сопла и т.п. Длина должна быть достаточной для того, чтобы при заданной скорости потока, определяемой начальными термодинамическими параметрами газа и геометрией сопла, капли могли бы сформироваться и вырасти до размеров, больших $D > 0,5$ мкм, и, кроме того, успеть продиффундировать до стенок рабочей части. Время формирования капель может быть получено из известных в литературе данных. Скорость дрейфа может быть определена при заданной степени закрутки потока также известными методами.

Выполнение угла раскрытия рабочей части сопла, обеспечивающим поддержание условий конденсации газа или его целевых компонент в ней, повышает эффективность сепарации за счет того, что выбраны оптимальные соотношения между площадями входа и выхода из основного сопла и площадью его минимального сечения, при которых статические температуры потока и парциальное давление целевой компоненты газа соответствуют условиям максимальной скорости роста капель при минимальном потребном перепаде давлений на входе и выходе из всего устройства. Угол раскрытия рабочей части сопла выбран из условия сохранения этих условий. При этом учитывается рост пограничного слоя на стенках.

Снабжение устройства дополнительным дозвуковым или сверхзвуковым соплом и установка его в форкамере позволяют повысить эффективность сепарации, поскольку позволяет существенно повысить устойчивость потока. Из проведенных опытов и данных литературы известно, что определенная часть вихревого потока, расположенная в окрестности оси устройства, неустойчива и прецессирует относительно оси устройства, приводя тем самым к возмущению потока и ухудшению процесса сепарации. Вдув незавихренной струи в центральную область потока, например, позволяет его стабилизировать и исключить тем самым эффект прецессии.

Положение места вдува струи из дополнительного сопла в основной поток (форкамера, дозвуковая или сверхзвуковая часть основного сопла) зависит от интенсивности закрутки, термодинамических параметров потоков в основном и дополнительном сопле и соотношением их расходов.

Выполнение дополнительного сопла таким, что соотношение площадей выходных сечений дополнительного сопла к основному составляет величину 0,01-0,5, позволяет оптимизировать условие сепарации целевых компонентов. Выбор указанных геометрических размеров обусловлен наблюдаемыми на опыте соотношениями. При этом, если указанное соотношение будет менее чем 0,01, то эффективность сепарации снижается, так как в этом случае эффект стабилизации положения оси потока не возникает. Если же это соотношение превышает 0,5, то также наблюдается снижение эффективности сепарации, обусловленное тем, что при такой интенсивности подачи газа в ядро вихря происходит ослабление интенсивности вихря и уменьшение центробежных сил и, следовательно, эффекта сепарации.

В частных случаях реализации дополнительное дозвуковое или сверхзвуковое сопло может быть установлено в форкамере соосно или не соосно основному соплу. В случае соосной установки сепарация осуществляется более эффективно благодаря стабилизации положения оси потока. Несосоная установка дополнительного сопла позволяет при определенных условиях лучше воздействовать на неустойчивость вихревого течения.

При этом дополнительное сопло может быть установлено в форкамере в различных вариантах. В одном случае вход в него может располагаться перед средством для закрутки газового потока. Во втором случае вход может быть расположен за средством для закрутки потока. При этом в обоих случаях выход дополнительного сопла может располагаться только за средством для закрутки газового потока. В том случае, когда вход в дополнительное сопло расположен перед закручивающим устройством, а выход из него - за ним, в завихренный поток подается незавихренная струя газа, стабилизирующая вихревой поток. Этот случай, как правило, соответствует случаю использования интенсивной начальной закрутки. При применении менее интенсивной начальной закрутки может оказаться более выгодным использование для стабилизации потока уже закрученной струи. В этом случае вход в дополнительное сопло располагается за закручивающим устройством. При этом выход из дополнительного сопла может находиться как в форкамере, так в дозвуковой или сверхзвуковой части основного сопла.

Соединение входа дополнительного сопла с дополнительным источником газа может повышать эффективность сепарации, поскольку в этом случае может быть использовано существенно более высокое полное давление и соответственно более плотная струя с большей скоростью что, в случае необходимости, обеспечит более жесткую стабилизацию потока.

Снабжение устройства для сжижения и сепарации газов газожидкостным сепаратором, вход которого соединен с выходом из средства для отбора жидкой фазы, а газовый выход соединен с входом дополнительного сопла, обеспечивает повышение эффективности сепарации за счет того, что в центральную часть вихревой зоны поступает газ из газожидкостного сепаратора с высокой концентрацией сепарируемого компонента с одной стороны и с более низкой температурой с другой, что способствует образованию в нем кластеров, являющихся зародышами капель. Более высокая концентрация целевого сепарируемого компонента в поступающем в дополнительное сопло в газе обусловлена тем, что в газожидкостном сепараторе имеет место термодинамическое равновесие и имеет место фазовое равновесие "газ-жидкость". При этом жидкость состоит в основном из целевого компонента. Более низкая температура поступающего в дополнительное сопло газа обусловлена в основном эффектом Джоуля-Томсона, имеющем место при расширении газа в основном сопле, поскольку давление в средстве для отбора компонента ниже, чем на входе в основное сопло.

Для обеспечения возможности поступления газа из газожидкостного сепаратора на вход дополнительного сопла необходимо, чтобы давление на выходе из дополнительного сопла было меньше, чем статическое давление в закрученном потоке в месте расположения выхода. Это достигается, например, соответствующим выбором интенсивности закрутки. Т.е. всегда можно выбрать такую интенсивность закрутки, что давление на оси потока в области установки выхода сопла будет достаточно малым для создания перепада, необходимого для подачи газа из газожидкостного сепаратора обратно в поток.

Предложенная конструкция обладает существенным преимуществом перед известными, поскольку позволяет исключить существующую в газовой промышленности проблему уноса жидкости при подготовке газа к транспорту. Например, в общепринятых методиках выделения конденсируемого компонента при помощи турбодетандера или дросселя весь охлажденный в этих устройствах газ поступает в газожидкостный сепаратор, где происходит разделение двухфазного потока на газ и жидкость. Поток газа поступает в трубопровод, но в этом подготовленном к транспортировке газе сохраняется некоторое количество жидкой компоненты из-за неполного разделения двухфазного потока. Это вызывает значительные трудности при транспортировке газа. Аналогичная проблема возникает при использовании для подготовки газа к транспорту сверхзвукового сепаратора (см., например, патент RU № 2137065, патент RU № 2167374). В этом случае очищенный газовый поток из сверхзвукового сепаратора, перед направлением в трубопровод, объединяется с газовым потоком из газожидкостного сепаратора, в котором происходит разделение на газовую и жидкую фазу обогащенного газожидкостного потока из сверхзвукового сепаратора. В предлагаемой конструкции эта проблема решается, так как в трубопровод направляется только очищенный газовый поток из сверхзвукового сепаратора, а газовый поток из газожидкостного сепаратора поступает опять на вход заявляемого устройства.

Выполнение площади входного сечения основного сопла с превышением площади его минимального (критического) сечения не менее чем в 10 раз необходимо для того, чтобы существенно уменьшить имеющиеся место неоднородности на входе в основное сопло. Такие неоднородности возникают из-за размещения в форкамере закручивающих устройств, привнесенной извне турбулентности, от расположенных в трассе подачи газа различного рода устройств, таких как вентили, задвижки и т.п. Эффект поджатия позволяет существенно уменьшить неоднородность потока, а, следовательно, и уменьшить перемешивание потока, отрицательно сказывающееся на процессе сепарации капель.

В частных случаях реализации целесообразно за дозвуковым диффузором или в нем устанавливать устройство, преобразующее кинетическую энергию закрученного потока в давление, так как значительная часть кинетической энергии завихренного потока заключена в его тангенциальных составляющих. В устройстве, состоящем из комбинации сверхзвукового и дозвукового диффузоров, в энергию давления переходит только поступательная составляющая скорости, поэтому желательно использовать спрямляющие устройства. Известно несколько типов спрямляющих устройств, одни из которых просто гасят тангенциальную составляющую скорости (например, сетки, хонейкомбы и т.п.), другие преобразуют тан-

генциальную составляющую скорости в давление. Таковым, например, является спрямляющий аппарат, выполненный в виде центрального тела с расположенными на нем лопатками, ориентированными соответствующим образом. Именно такого типа аппараты следует установить для повышения КПД устройства. Снабжение диффузора средством для спрямления закрученного газового потока позволяет преобразовать кинетическую энергию его вращательного движения в энергию поступательного, что в конечном итоге повышает давление газа на выходе устройства, и, следовательно, сокращает перепад давлений между входом и выходом, что также повышает КПД устройства.

Сущность заявляемого устройства для сжижения и сепарации газов поясняется примерами его реализации и чертежами.

На фиг. 1 схематично показано продольное сечение устройства, охарактеризованное в п.1 формулы с соосным размещением дополнительного сверхзвукового сопла и размещением его входа перед средством для закрутки газового потока, а выхода в дозвуковой части основного сопла, рабочей частью и системой сверхзвукового и дозвукового диффузоров.

На фиг. 2 схематично показано продольное сечение форкамеры устройства, когда вход в дополнительное дозвуковое сопло размещено после средства для закрутки газового потока, а его выход в форкамере.

На фиг. 3 представлено продольное сечение форкамеры устройства с дополнительным дозвуковым соплом, вход в которое соединен с внешним источником газа, а выход находится в дозвуковой части основного сопла.

На фиг. 4 схематично показано продольное сечение устройства, снабженного дополнительным источником газа, в качестве которого использован газожидкостный сепаратор, газовый выход которого соединен с входом дополнительного дозвукового сопла, выход которого находится в дозвуковой части основного сопла.

На фиг. 5 представлен продольный разрез устройства с геометрическими соотношениями характерных размеров, обеспечивающих гашение пульсаций потока, возникающих от закручивающих устройств и других элементов трубопровода.

На фиг. 6 схематично показано продольное сечение устройства, охарактеризованное в п.1 формулы с соосным размещением дополнительного дозвукового сопла и размещением его входа перед средством для закрутки газового потока, а выхода в дозвуковой части основного сопла и дозвуковым диффузором.

Пример 1. Один из вариантов реализации устройства для сжижения и сепарации газов, представленный на фиг. 1, содержит последовательно и соосно установленные форкамеру 1 с размещенным в ней средством 2 для закрутки газового потока, сверхзвуковое сопло 3 с пристыкованной к нему рабочей частью 4, к которой в свою очередь присоединено средство для отбора жидкой фазы 5. На выходе сопла 3, за рабочей частью 4, установлены сверхзвуковой диффузор 6 и дозвуковой диффузор 7. В форкамере 1 устройства установлено дополнительное сверхзвуковое сопло 8, вход которого снабжен устройством 9 регулирования расхода газа через дополнительное сопло. При этом вход в дополнительное сопло расположен перед средством 2 для закрутки газового потока, а выход из него в дозвуковой части основного сопла. Такое конструктивное решение, как правило, применяется при интенсивной начальной закрутке. Средство для отбора жидкой фазы 5 соединено с газожидкостным сепаратором 10.

Устройство работает следующим образом.

Газовая смесь поступает в форкамеру 1, при этом ее основная часть проходит через закручивающее устройство 2, а другая часть поступает на вход дополнительного сопла 8 (регулирование расхода осуществляется устройством 9). Закрученный поток поступает в основное сопло 3, где происходит его адиабатическое расширение, сопровождающееся понижением давления и температуры. Характеристики сопла 3 (соотношение площадей поперечных сечений входа и выхода к площади минимального сечения) выбраны на основании расчетов таким образом, что на его выходе достигается статическое давление и статическая температура, которые соответствуют условию конденсации целевой компоненты, с учетом необходимого переохлаждения (для создания нужного количества центров конденсации).

При этом для обеспечения уменьшения неоднородностей потока, возникающих на входе основного сопла, необходимо обеспечить выполнение следующего соотношения:

$$\frac{R^{2\text{вн.}} - R^{2\text{внут}}}{R^{2\text{кр}}} \geq 10$$

которое соответствует п.9 формулы изобретения (см. фиг. 5).

Далее, закрученный поток поступает в рабочую часть 4, длина которой выбрана из условий обеспечения роста капель до размеров, больших 0,5 мкм, и их дрейфа, под воздействием центробежных сил, до ее стенок. Угол раскрытия рабочей части определяется как расчетным, так и экспериментальным путем и выбран таким, чтобы обеспечить поддержание условий для максимального роста капель и скомпенсировать рост пограничного слоя.

Направление части потока в виде независимой струи через дополнительное сопло стабилизирует вихревой поток и обеспечивает устойчивость процесса в устройстве, чем способствует повышению его эффективности.

Выбор дозвукового или сверхзвукового дополнительного сопла определяется интенсивностью закрутки и связанным с ней перепадом давлений между входом в дополнительное сопло и выходом из него. При высокой интенсивности закрутки предпочтительней использование сверхзвукового сопла, а при низкой - дозвукового. При этом должно быть выполнено соотношение:

$$\frac{F_{\text{вых.доп.сопла}}}{F_{\text{вых.основн.сопла}}} \approx 0,01 \div 0,5$$

которое соответствует п.2 формулы изобретения, при этом $F_{\text{вых.доп.сопла}} = \pi r^2$ и $F_{\text{вых.основн.сопла}} = \pi R^2$ (см. фиг. 5).

Образовавшийся вблизи стенок рабочей части обогащенный целевой компонентой газожидкостный поток поступает в средство отбора 5 и далее, в газожидкостный сепаратор 10, а обедненная целевой компонентой газовая смесь, проходя через сверхзвуковой и дозвуковой диффузоры 6 и 7 соответственно, выходит из устройства.

В данном примере использовано основное сверхзвуковое сопло 3. Поэтому для торможения потока и перевода его кинетической энергии в давление газовый поток последовательно проходит сверхзвуковой и дозвуковой диффузоры. В первом из них происходит торможение потока в системе ударных волн до звуковой скорости, а во втором диффузоре - до скорости, потребной для дальнейшей транспортировки газа. Выбор геометрических параметров диффузоров (входных и выходных сечений, углов их раскрытия) определяется из условия максимальной эффективности перевода кинетической энергии потока в энергию давления.

Таким образом, в результате работы устройства поступившая в него газовая смесь разделяется на два потока. Один - газовый, очищенный от целевой компоненты, и другой - газожидкостный, обогащенный этой компонентой, который, например, направляется в газожидкостный сепаратор 10, где разделяется на газовую и жидкую фазы. Газовый поток из газожидкостного сепаратора может быть объединен с газовым потоком из устройства или направлен на вход устройства, как описано в примере 4.

Пример 2. Один из вариантов реализации устройства для сжижения и сепарации газов, представленный на фиг. 2 (представлено только продольное сечение форкамеры, остальные элементы, показаны на фиг. 1), содержит последовательно и соосно установленные форкамеру 1 с размещенным в ней средством 2 для закрутки газового потока, сверхзвуковое сопло 3 с пристыкованной к нему рабочей частью 4, к которой в свою очередь присоединено средство для отбора жидкой фазы 5. На выходе сопла 3 за рабочей частью 4 установлены сверхзвуковой диффузор 6 и дозвуковой диффузор 7. В форкамере 1 устройства установлено с помощью пилонов 13 дополнительное дозвуковое сопло 8, вход которого снабжен устройством 9 регулирования расхода газа через дополнительное сопло 8. При этом вход в дополнительное сопло 8 расположен после средства 2 для закрутки газового потока. Такое конструктивное решение, как правило, применяется при относительно слабой начальной закрутке.

Устройство работает следующим образом.

Газовая смесь поступает в форкамеру 1, при этом ее основная часть проходит через закручивающее устройство 2, а другая часть поступает на вход дополнительного сопла 8 (регулирование расхода осуществляется устройством 9). Закрученный поток поступает в основное сопло 3, где происходит его адиабатическое расширение, сопровождающееся понижением давления и температуры. Характеристики сопла 3 (соотношение площадей поперечных сечений входа и выхода к площади минимального сечения) выбраны на основании расчетов таким образом, что на его выходе достигается статическое давление и статическая температура, которые соответствуют условию конденсации целевой компоненты, с учетом необходимого переохлаждения (для создания нужного количества центров конденсации). Далее, закрученный поток поступает в рабочую часть 4, длина которой выбрана из условий обеспечения роста капель до размеров, больших 0,5 мкм, и их дрейфа, под воздействием центробежных сил, до ее стенок. Угол раскрытия рабочей части определяется как расчетным, так и экспериментальным путем и выбран таким, чтобы обеспечить поддержание условий для максимального роста капель и скомпенсировать рост пограничного слоя.

Направление части потока в виде завихренной струи через дополнительное сопло стабилизирует вихревой поток и обеспечивает устойчивость процесса в устройстве, чем способствует повышению его эффективности.

Выбор в данном случае дозвукового дополнительного сопла определяется слабой интенсивностью закрутки.

Образовавшийся вблизи стенок рабочей части обогащенный целевой компонентой газожидкостный поток поступает в средство отбора 5 и далее, в газожидкостный сепаратор 10, а обедненная целевой компонентой газовая смесь, проходя через сверхзвуковой и дозвуковой диффузоры 6 и 7 соответственно, выходит из устройства.

В данном примере использовано основное сверхзвуковое сопло 3. Поэтому для торможения потока и перевода его кинетической энергии в давление газовый поток последовательно проходит сверхзвуковой и дозвуковой диффузоры. В первом из них происходит торможение потока в системе ударных волн до звуковой скорости, а во втором диффузоре до скорости потребной для дальнейшей транспортировки

газа. Выбор геометрических параметров диффузоров (входных и выходных сечений, углов их раскрытия) определяется из условия максимальной эффективности перевода кинетической энергии потока в энергию давления.

Таким образом, в результате работы устройства, поступившая в него газовая смесь, разделяется на два потока. Один - обогащенный целевой компонентой и другой - обедненный этой компонентой.

Пример 3. Один из вариантов реализации устройства для сжижения и сепарации газов, представленный на фиг. 3 (представлено только продольное сечение форкамеры и внешний источник газа, остальные элементы показаны на фиг. 1), содержит последовательно и соосно установленные форкамеру 1 с размещенным в ней средством 2 для закрутки газового потока, сверхзвуковое сопло 3 с пристыкованной к нему рабочей частью 4, к которой в свою очередь присоединено средство для отбора жидкой фазы 5. На выходе сопла 3, за рабочей частью 4, установлены сверхзвуковой диффузор 6 и дозвуковой диффузор 7. В форкамере 1 устройства установлено дополнительное дозвуковое сопло 8, вход которого снабжен устройством 9 регулирования расхода газа через дополнительное сопло. Вход в дополнительное сопло соединен посредством трубопровода 11 с внешним источником газа 12, в качестве которого может быть использован любой из числа известных. Например, это может быть выход из какого-либо аппарата, используемого для обработки газовой смеси, газовая или газоконденсатная скважина, и т.д. При этом вход в дополнительное сопло расположен перед средством 2 для закрутки газового потока.

Устройство работает следующим образом.

Газовая смесь поступает в форкамеру 1 и проходит через закручивающее устройство 2. Другой газовый поток из внешнего источника газа 12, через трубопровод 11 поступает на вход дополнительного сопла 8 (регулирование расхода осуществляется устройством 9). Закрученный поток поступает в основное сопло 3, где происходит его адиабатическое расширение, сопровождающееся понижением давления и температуры. Характеристики сопла 3 (соотношение площадей поперечных сечений входа и выхода к площади минимального сечения) выбраны, на основании расчетов, таким образом, что на его выходе достигается статическое давление и статическая температура, которые соответствуют условию конденсации целевой компоненты, с учетом необходимого переохлаждения (для создания нужного количества центров конденсации). Далее, закрученный поток поступает в рабочую часть 4, длина которой выбрана из условий обеспечения роста капель до размеров, больших 0,5 мкм, и их дрейфа, под воздействием центробежных сил, до ее стенок. Угол раскрытия рабочей части определяется как расчетным, так и экспериментальным путем и выбран таким, чтобы обеспечить поддержание условий для максимального роста капель и скомпенсировать рост пограничного слоя.

Направление газового потока из дополнительного источника газа в виде завихренной струи через дополнительное сопло стабилизирует вихревой поток и обеспечивает устойчивость процесса в устройстве, чем способствует повышению его эффективности. Газ из дополнительного источника может содержать некоторое количество жидкой компоненты, капли которой выступают в качестве зародышей, чем способствуют процессу конденсации и повышают эффективность устройства.

Образовавшийся вблизи стенок рабочей части обогащенный целевой компонентой газожидкостный поток поступает в средство отбора 5 и далее, в газожидкостный сепаратор 10, а обедненная целевой компонентой газовая смесь, проходя через сверхзвуковой и дозвуковой диффузоры 6 и 7 соответственно, выходит из устройства.

В данном примере использовано основное сверхзвуковое сопло 3. Поэтому для торможения потока и перевода его кинетической энергии в давление газовый поток последовательно проходит сверхзвуковой и дозвуковой диффузоры. В первом из них происходит торможение потока в системе ударных волн до звуковой скорости, а во втором диффузоре до скорости потребной для дальнейшей транспортировки газа. Выбор геометрических параметров диффузоров (входных и выходных сечений, углов их раскрытия) определяется из условия максимальной эффективности перевода кинетической энергии потока в энергию давления.

Таким образом, в результате работы устройства поступившая в него газовая смесь разделяется на два потока. Один - газовый, очищенный от целевой компоненты, и другой - газожидкостный, обогащенный этой компонентой, который, например, направляется в газожидкостный сепаратор 10, где разделяется на газовую и жидкую фазы. Газовый поток из газожидкостного сепаратора может быть объединен с газовым потоком из устройства или направлен на вход устройства, как описано в примере 4.

Пример 4. Один из вариантов реализации устройства для сжижения и сепарации газов, представленный на фиг. 4, содержит последовательно и соосно установленные форкамеру 1 с размещенным в ней средством 2 для закрутки газового потока, сверхзвуковое сопло 3 с пристыкованной к нему рабочей частью 4, к которой в свою очередь присоединено средство для отбора жидкой фазы 5. На выходе сопла 3, за рабочей частью 4, установлены сверхзвуковой диффузор 6 и дозвуковой диффузор 7. В форкамере 1 устройства установлено дополнительное дозвуковое или сверхзвуковое сопло 8, вход которого снабжен устройством 9 регулирования расхода газа через дополнительное сопло. Вход в дополнительное сопло соединен посредством трубопровода 11 с внешним источником газа 12, в качестве которого используется газовый выход газожидкостного сепаратора 10. При этом вход в дополнительное сопло расположен перед средством 2 для закрутки газового потока.

Устройство работает следующим образом.

Газовая смесь поступает в форкамеру 1, при этом ее основная часть проходит через закручивающее устройство 2, а другая часть поступает на вход дополнительного сопла 8 (регулирование расхода осуществляется устройством 9). Закрученный поток поступает в основное сопло 3, где происходит его адиабатическое расширение, сопровождающееся понижением давления и температуры. Характеристики сопла 3 (соотношение площадей поперечных сечений входа и выхода к площади минимального сечения) выбраны, на основании расчетов, таким образом, что на его выходе достигается статическое давление и статическая температура, которые соответствуют условию конденсации целевой компоненты, с учетом необходимого переохлаждения (для создания нужного количества центров конденсации). Далее, закрученный поток поступает в рабочую часть 4, длина которой выбрана из условий обеспечения роста капель до размеров, больших 0,5 мкм, и их дрейфа, под воздействием центробежных сил, до ее стенок. Угол раскрытия рабочей части определяется как расчетным, так и экспериментальным путем и выбран таким, чтобы обеспечить поддержание условий для максимального роста капель и скомпенсировать рост пограничного слоя.

Образовавшийся вблизи стенок рабочей части обогащенный целевой компонентой газожидкостный поток поступает в средство отбора 5 и далее, в газожидкостный сепаратор 10, а обедненная целевой компонентой газовая смесь, проходя через сверхзвуковой и дозвуковой диффузоры 6 и 7 соответственно, выходит из устройства.

Газ из газожидкостного сепаратора 10 по трубопроводу 11 поступает на вход дополнительного сопла 8. Его расход регулируется устройством 9.

Направление газового потока из газожидкостного сепаратора на вход дополнительного сопла обеспечивает решение двух задач. Во-первых, как и в предыдущих примерах, незавихренная струя, выходящая из дополнительного сопла, стабилизирует вихревой поток и обеспечивает устойчивость процесса в устройстве. Во-вторых, так как газ, выходящий из газожидкостного сепаратора, всегда содержит некоторое количество жидкости, направление его в трубопровод может вызывать сложности при дальнейшей транспортировке. Предлагаемое решение позволяет снизить количество жидкости в подготовленном газе, чем способствует повышению эффективности заявляемого устройства.

В данном примере использовано основное сверхзвуковое сопло 3. Поэтому для торможения потока и перевода его кинетической энергии в давление газовый поток последовательно проходит сверхзвуковой и дозвуковой диффузоры. В первом из них происходит торможение потока в системе ударных волн до звуковой скорости, а во втором диффузоре до скорости потребной для дальнейшей транспортировки газа. Выбор геометрических параметров диффузоров (входных и выходных сечений, углов их раскрытия) определяется из условия максимальной эффективности перевода кинетической энергии потока в энергию давления.

Таким образом, в результате работы устройства поступившая в него газовая смесь разделяется на два потока. Один - газовый поток, подготовленный к транспорту и другой - поток жидкости.

Пример 5. Один из вариантов реализации устройства для сжижения и сепарации газов, представленный на фиг. 6, содержит последовательно и соосно установленные форкамеру 1 с размещенным в ней средством 2 для закрутки газового потока, дозвуковое сопло 3 с пристыкованной к нему рабочей частью 4, к которой в свою очередь присоединено средство для отбора жидкой фазы 5. На выходе сопла 3, за рабочей частью 4, установлен дозвуковой диффузор 7. В форкамере 1 устройства установлено дополнительное дозвуковое 8, вход которого снабжен устройством 9 регулирования расхода газа через дополнительное сопло.

При этом вход в дополнительное сопло расположен до средства 2 для закрутки газового потока, а его выход в дозвуковом основном сопле. Средство для отбора жидкой фазы 5 соединено с газожидкостным сепаратором 10.

Устройство работает следующим образом.

Газовая смесь поступает в форкамеру 1, при этом ее основная часть проходит через закручивающее устройство 2, а другая часть поступает на вход дополнительного сопла 8 (регулирование расхода осуществляется устройством 9). Закрученный поток поступает в основное сопло 3, где происходит его адиабатическое расширение, сопровождающееся понижением давления и температуры. Характеристики дозвукового сопла 3 (соотношение площади поперечного сечения входа к площади минимального сечения) выбрано, на основании расчетов, таким образом, что на входе в рабочую часть 4 достигается статическое давление и статическая температура, которые соответствуют условию конденсации целевой компоненты, с учетом необходимого переохлаждения (для создания нужного количества центров конденсации). Далее, закрученный поток поступает в рабочую часть 4, длина которой выбрана из условий обеспечения роста капель до размеров, больших 0,5 мкм, и их дрейфа, под воздействием центробежных сил, до ее стенок.

Направление части потока в виде незавихренной струи через дополнительное сопло стабилизирует вихревой поток и обеспечивает устойчивость процесса в устройстве, чем способствует повышению его эффективности.

Выбор в данном случае дозвукового дополнительного сопла определяется слабой интенсивностью

закрутки.

Образовавшийся вблизи стенок рабочей части обогащенный целевой компонентом газожидкостный поток поступает в средство отбора 5 и далее, в газожидкостный сепаратор 10, а обедненная целевой компонентом газовая смесь, проходя через дозвуковой диффузор 7, выходит из устройства.

В данном примере использовано основное дозвуковое сопло 3. Поэтому для торможения потока и перевода его кинетической энергии в давление газовый поток проходит через дозвуковой диффузор 7. В этом диффузоре скорость потока уменьшается до скорости потребной для дальнейшей транспортировки газа.

Выбор геометрических параметров диффузора (входного и выходного сечений, угла раскрытия) определяется из условия максимальной эффективности перевода кинетической энергии потока в энергию давления.

Таким образом, в результате работы устройства поступившая в него газовая смесь разделяется на два потока. Один - газовый, очищенный от целевой компоненты, и другой - газожидкостный, обогащенный этой компонентой, который, например, направляется в газожидкостный сепаратор 10, где разделяется на газовую и жидкую фазы. Газовый поток из газожидкостного сепаратора может быть объединен с газовым потоком из устройства или направлен на вход устройства, как описано в примере 4.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Устройство для сжижения газа или выделения одного или нескольких газов из их смеси, содержащее последовательно соосно установленные форкамеру (1) с размещенным в ней средством (2) для закрутки газового потока, дозвуковое или сверхзвуковое сопло (3) с пристыкованной к нему рабочей частью (4), к которой присоединено средство для отбора жидкой фазы (5), дозвуковой диффузор (7) или комбинация сверхзвукового (6) и дозвукового (7) диффузора, при этом сопло (3) выполнено с соотношениями площадей поперечных сечений входа и выхода к минимальному сечению сопла (3), обеспечивающими на его выходе достижение статического давления и статической температуры, которые соответствуют условию конденсации газа или его целевых компонент, длина рабочей части (4) - обеспечивающей формирование капель конденсата с размером, большим 0,5 мкм, и их дрейф под действием центробежных сил от осевой зоны рабочей части (4) до стенок средства отбора капель (5), а угол раскрытия рабочей части (4) - обеспечивающим поддержание условий конденсации газа или его целевых компонент в ней; при этом устройство снабжено дополнительным дозвуковым или сверхзвуковым соплом (8), установленным в форкамере (1).

2. Устройство по п.1, отличающееся тем, что дополнительное дозвуковое или сверхзвуковое сопло (8) выполнено так, что соотношение площадей выходных сечений основного (3) и дополнительного (8) сопел составляет величину

$$\frac{F_{\text{вых.доп.сопла}}}{F_{\text{вых.основн.сопла}}} \approx 0,01 \pm 0,5$$

3. Устройство по п.1, отличающееся тем, что дополнительное дозвуковое или сверхзвуковое сопло (8) установлено в форкамере (1) соосно или не соосно основному соплу (3).

4. Устройство по п.1, отличающееся тем, что дополнительное дозвуковое или сверхзвуковое сопло (8) установлено в форкамере (1) так, что вход в него расположен перед средством (2) для закрутки газового потока или за ним, а выход сопла (8) - только за средством (2) для закрутки газового потока.

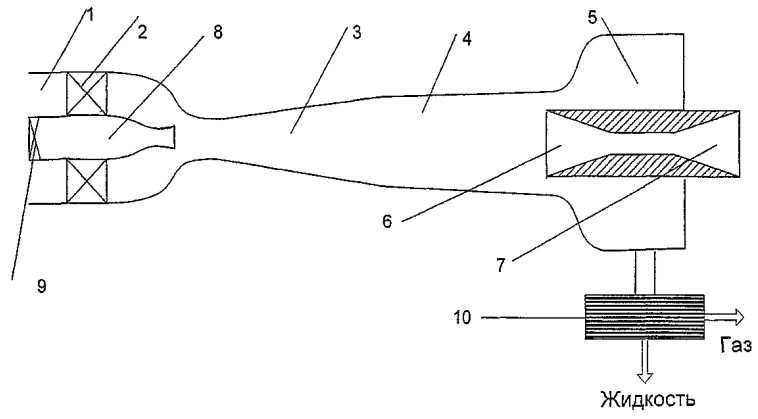
5. Устройство по п.4, отличающееся тем, что выход дополнительного сопла расположен в форкамере.

6. Устройство по п.4, отличающееся тем, что выход дополнительного сопла (8) расположен в дозвуковой или сверхзвуковой части основного сопла (3).

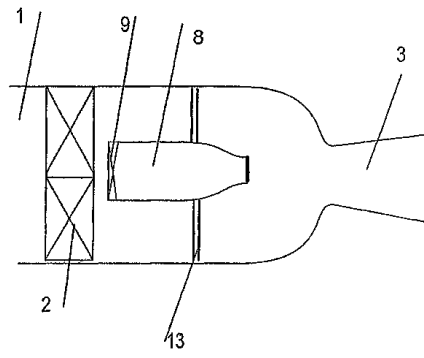
7. Устройство по п.1, отличающееся тем, что вход дополнительного сопла (8) соединен с внешним источником газа (12).

8. Устройство по п.1, отличающееся тем, что оно снабжено газожидкостным сепаратором (10), вход которого соединен с выходом из средства для отбора жидкой фазы (5), а газовый выход соединен с входом дополнительного сопла (8).

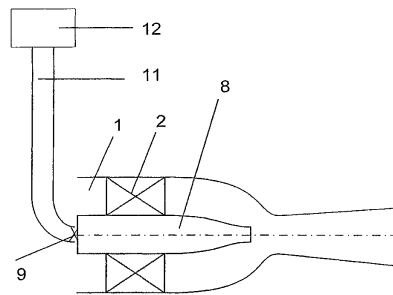
9. Устройство по п.1, отличающееся тем, что площадь входного сечения основного сопла (3) превышает площадь его минимального (критического) сечения не менее чем в 10 раз.



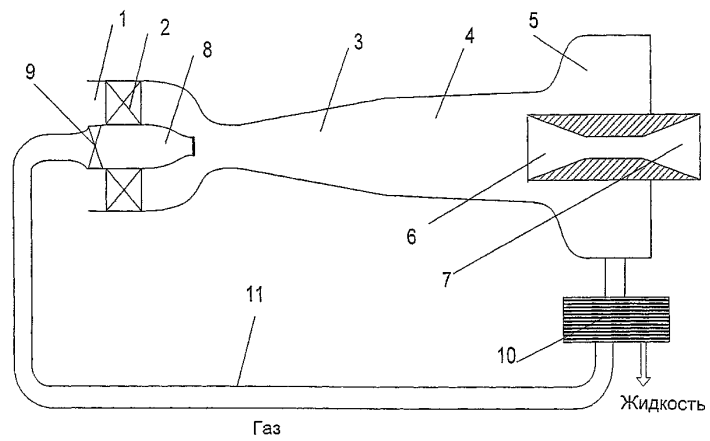
Фиг. 1



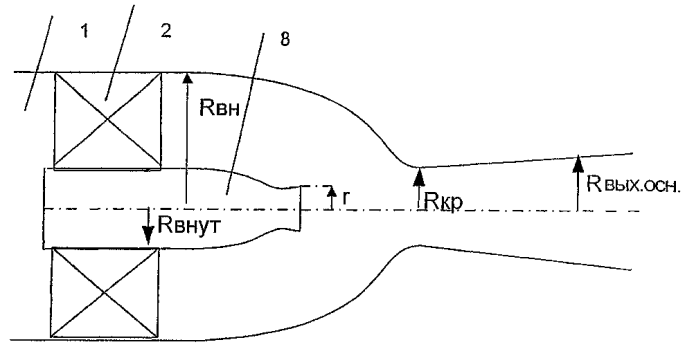
Фиг. 2



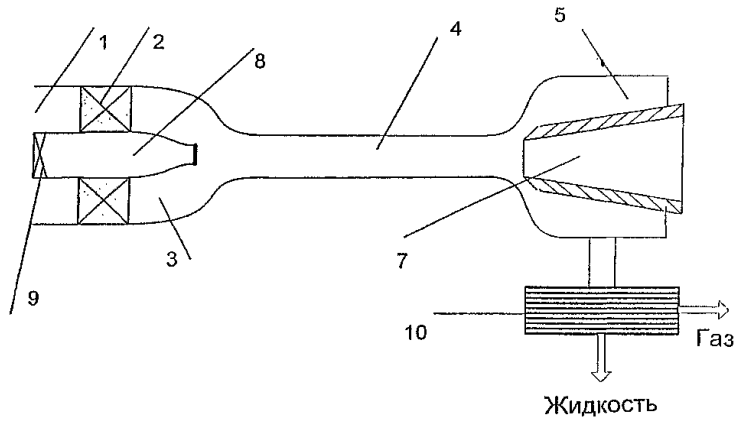
Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6