

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2011120259/06, 23.05.2011

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
23.05.2011

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:
24.05.2010 IT CO2010A000029

(43) Дата публикации заявки: 27.11.2012 Бюл. № 33

(45) Опубликовано: 20.10.2015 Бюл. № 29

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: EP 1362984 A2, 19.11.2003. US
2004088982 A1, 13.05.2004. US 2007031238 A1,
08.02.2007. GB 2133839 A, 01.08.1984. US 4028884
A, 14.06.1977. SU 219606 A1, 14.06.1968. RU
2110022 C1, 27.04.1998. RU 2206755 C1,
20.06.2003.Адрес для переписки:
191036, Санкт-Петербург, а/я 24, "НЕВИНПАТ"

(72) Автор(ы):

АСТИ Антонио (IT),
СКОТТИ ДЕЛЬ ГРЕКО Альберто (IT),
ДЕЛЬ ТУРКО Паоло (IT),
МИЛЬЯНИ Алессио (IT)(73) Патентообладатель(и):
Нуово Пиньоне С.п.А. (IT)C2
2 5 6 5 6 7 9
RU

(54) УСТАНОВКА ДЛЯ ВЫРАБОТКИ ЭНЕРГИИ И СПОСОБ ВЫРАБОТКИ ЭНЕРГИИ

(57) Реферат:

Способ и установка для выработки электроэнергии, в которых используется турбодетандер, имеющий по меньшей мере две ступени расширения и соединенный с генератором. Установка содержит контроллер, предназначенный для регулирования угла первого входного направляющего аппарата, расположенного на входе первой ступени расширения турбодетандера, для поддержания давления на входе первой ступени расширения в заданном диапазоне, и угла второго входного направляющего аппарата, расположенного на

входе второй ступени расширения турбодетандера. Управляющее устройство выполнено с возможностью определения наибольшей мощности из измеренных мощностей генератора и соответствующего угла второго входного направляющего аппарата и с возможностью регулирования угла второго входного направляющего аппарата независимо от угла первого входного направляющего аппарата для достижения наибольшей мощности. 2 н. и 8 з.п. ф-лы, 12 ил.

R U
2 5 6 5 6 7 9
C 2

RUSSIAN FEDERATION



(19) RU⁽¹¹⁾ 2 565 679⁽¹³⁾ C2

(51) Int. Cl.
F01D 17/16 (2006.01)

FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21)(22) Application: 2011120259/06, 23.05.2011

(24) Effective date for property rights:
23.05.2011

Priority:

(30) Convention priority:
24.05.2010 IT CO2010A000029

(43) Application published: 27.11.2012 Bull. № 33

(45) Date of publication: 20.10.2015 Bull. № 29

Mail address:
191036, Sankt-Peterburg, a/ja 24, "NEVINPAT"

(72) Inventor(s):

ASTI Antonio (IT),
SKOTTI DEL' GREKO Al'berto (IT),
DEL' TURKO Paolo (IT),
MIL'JaNI Alessio (IT)

(73) Proprietor(s):

Nuovo Pin'one S.p.A. (IT)

R U 2 5 6 5 6 7 9 C 2

(54) ELECTRIC POWER GENERATOR AND POWER GENERATION PROCESS

(57) Abstract:

FIELD: process engineering.

SUBSTANCE: in compliance with this invention turbo-expander is used provided with two expansion stages and connected with generator. Proposed plant comprises controller to adjust the angle of first inlet distributor arranged at first turbo-expander expansion stage inlet, to maintain pressure at said inlet in preset pressure range and the angle of second inlet distributor

arranged at turbo-expander second expansion stage inlet.

EFFECT: determination of maximum measured power output of generator and of appropriate angle of second inlet distributor irrespective of the angle of first inlet distributor to ensure maximum power output.

10 cl, 12 dwg

ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Варианты выполнения раскрытой здесь темы относятся, главным образом, к установкам для выработки электроэнергии, в частности, к турбодетандерам.

ПРЕДПОСЫЛКИ ИЗОБРЕТЕНИЯ

- 5 В циклах Ренкина используется рабочая текучая среда в замкнутом цикле для накопления тепла от источника тепла или горячего резервуара и создания горячего газообразного потока, который, расширяясь, проходит по турбине для выработки энергии. Дросселированный поток конденсируют в конденсаторе путем передачи тепла холодному резервуару и опять сжимают до давления нагревания для завершения цикла.
- 10 Установки для выработки энергии, такие как газовые турбины или поршневые двигатели (первичная установка), производят горячие выхлопные газы, которые либо используются в последующих способах производства энергии (вторичными установками), или теряются в виде выброса тепла в окружающую среду. Например, выхлопные газы большого двигателя могут использоваться в системе утилизации отработанного тепла,
- 15 используемой для производства дополнительной энергии, что повышает общий коэффициент полезного действия установки. Типовая установка производства энергии на отработанном тепле, работающая по циклу Ренкина, изображена на фиг.1.

Установка 1 для выработки энергии содержит теплообменник 2, называемый также паровым котлом или испарителем, турбодетандер 4, конденсатор 6 и насос 8. При 20 работе, начинающейся с теплообменника 2, внешний источник 10 тепла, например, горячие дымовые газы, нагревают теплообменник 2. Это приводит к превращению находящейся под давлением жидкой среды 12 в сжатый пар 14, который течет в турбодетандер 4. Турбодетандер 4 принимает поток сжатого пара 14 и может 25 вырабатывать энергию 16 благодаря расширению пара. Поток 18 расширившегося пара низкого давления, выпущенный турбодетандером 4, поступает в конденсатор 6, который конденсирует поток 18 расширившегося пара низкого давления в поток 20 жидкости низкого давления. Затем поток 20 жидкости низкого давления поступает в насос 8, который создает поток 12 жидкости более высокого давления, и поддерживает замкнутый контур установки. Поток жидкости 12 с более высоким давлением затем 30 течет в теплообменник 2 для продолжения этого процесса.

Одной из рабочих текучих сред, которая может использоваться в цикле Ренкина, является органическая рабочая текучая среда. Такая органическая рабочая текучая среда называется текучей средой органического цикла Ренкина (ОЦР). Установки ОЦР были созданы для модификации двигателей, а также малых и средних газовых турбин, 35 с целью использования отработанного тепла потоков горячих дымовых газов. Это отработанное тепло может использоваться во вторичных установках выработки энергии для получения до 20% дополнительной энергии дополнительно к энергии, вырабатываемой самим двигателем, создающим горячие дымовые газы.

В связи с проблемой, состоящей в том, что такие углеводородные текучие среды 40 могут ухудшать свои свойства и/или воспламеняться при непосредственном воздействии высокой температуры потока выхлопных газов газовой турбины (~ 500 градусов Цельсия), должны быть приняты меры для ограничения температуры теплообменных поверхностей в испарителе, который содержит рабочие текучие среды ОЦР.

Используемый в настоящее время способ ограничения температуры теплообменных 45 поверхностей в испарителе, содержащем рабочие текучие среды ОЦР, состоит во введении промежуточного термо-масляного контура в установку теплообменника, то есть в устранении циркуляции рабочей текучей среды ОЦР через выхлопную трубу газовой турбины. Промежуточный термо-масляный контур может быть использован

как часть промежуточного теплообменника между горячим дымовым газом и испаряемой рабочей текучей средой ОЦР.

Как описано выше, турбодетандер 4 используется в установках для выработки энергии. Турбодетандер 4 может представлять собой центробежную или осевую турбину, 5 через которую газ, имеющий высокое давление, расширяется с совершением работы, которая может быть использована для выработки энергии. Пример частей турбодетандера 4 изображен на фиг.2 и 3, которые воспроизведены из Патента США №5841104, полное содержание которого включено в настоящее описание посредством ссылки. На фиг.2 показана конструкция регулируемого направляющего аппарата в 10 радиальной центростремительной турбине. Радиальная центростремительная турбина содержит корпус 102 с кольцеобразным входом 104, на одной стороне которого расположена неподвижная круговая пластина 106, а на другой стороне расположено устройство регулирования направляющего аппарата. Регулирующее кольцо 108 размещено в радиальном направлении снаружи зажимного кольца 110. Регулирующее 15 кольцо 108 выполнено с возможностью поворота относительно зажимного кольца 110, поворот которого предотвращается осями 112 поворота лопаток, закрепленными в неподвижной пластине 106.

Лопатки 114 расположены вокруг кольцеобразного входа 104. Указанные лопатки размещены между неподвижной круглой пластиной 106 с одной стороны и зажимным 20 кольцом 110 и регулирующим кольцом 108 с другой стороны. Лопатки 114 выполнены с возможностью создания проточного тракта между ними. Площадь поперечного сечения этого тракта может быть увеличена или уменьшена путем изменения углового положения лопаток 114. Лопатки 114 установлены с возможностью поворота на осях 112. Взаимное расположение лопаток 114 и кольца 110 показано наложенной пунктирной 25 линией на фиг.3.

В указанном патенте США устройство регулирования направляющего аппарата содержит кулачок и кулачковый следящий механизм. Кулачковые механизмы 116 смешены в бок от осей 112 и зафиксированы стержнями в лопатках 114, как показано на фиг.3. Кулачковые механизмы 116 свободно вращаются относительно указанных 30 стержней. Для взаимодействия с кулачковыми механизмами 116, на регулирующем кольце 108 размещены кулачки в виде наклонных пазов 118. Они имеют размеры, необходимые для размещения кулачковых механизмов 116 с обеспечением свободного качения при вращении регулирующего кольца 108. Указанная конструкция лопаток 114, кулачковых механизмов 116, наклонных пазов 118 и регулирующего кольца 108 35 делает открытие лопаток 114 линейно зависимым от поворота регулирующего кольца 108. Таким образом, путем регулирования лопаток 114 можно управлять количеством текучей среды, пропускаемой в турбодетандер 4.

В некоторых случаях турбодетандер 4 может иметь несколько ступеней расширения, причем каждая ступень содержит комплект входных направляющих лопаток 114 для 40 управления потоком текучей среды. Однако управление лопатками 114 в нескольких ступенях расширения может изменить различные параметры в установке выработки энергии, что может привести к трудностям в традиционных установках выработки энергии, например, к невозможности регулировать давление в установке при оптимизации коэффициента полезного действия по мощности.

45 Соответственно, требуются установки и способы для более эффективной работы установок выработки энергии.

СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

В соответствии с примерным вариантом выполнения предложена установка для

выработки энергии, содержащая турбодетандер, имеющий по меньшей мере две ступени расширения и соединенный с генератором. Указанная установка содержит контроллер, выполненный с возможностью регулирования (i) угла первого входного направляющего аппарата, расположенного на входе первой ступени расширения турбодетандера, для 5 поддержания давления на входе первой ступени расширения в заданном диапазоне, и (ii) угла второго направляющего аппарата, расположенного на входе второй ступени расширения турбодетандера, для поддержания давления на входе первой ступени расширения в заданном диапазоне. Контроллер выполнен с возможностью изменения угла второго входного направляющего аппарата при поддержании неизменным угла 10 первого входного направляющего аппарата и для определения мощности, вырабатываемой генераторной установкой, при соответствующих измененных углах. Контроллер выполнен с возможностью определения наибольшей мощности из измеренных мощностей генераторной установки и соответствующего угла второго входного направляющего аппарата и с возможностью регулирования угла второго 15 входного направляющего аппарата независимо от угла первого входного направляющего аппарата для достижения наибольшей мощности.

Предпочтительно указанная установка для выработки энергии содержит конденсатор, проточно сообщающийся с выходной стороной турбодетандера и выполненный с возможностью приема потока расширенного пара и его конденсации в поток жидкости, 20 насос, проточно сообщающийся с выходной стороной конденсатора и выполненный с возможностью приема потока жидкости, повышения давления потока жидкости и передачи указанного потока жидкости в теплообменник.

Преимущественно в указанной установке контроллер выполнен для первой и второй ступеней расширения.

25 Предпочтительно в указанной установке контроллер выполнен с возможностью поддержания заданного соотношения между углом первого входного направляющего аппарата и углом второго входного направляющего аппарата во время регулирования входного давления первой ступени расширения в указанном заданном диапазоне.

Преимущественно в указанной установке определение наибольшей мощности 30 выполняется путем повторяемого регулирования угла второго входного направляющего аппарата в течение заданного отрезка времени и измерения выходной мощности генератора для каждого конкретного измененного угла при поддержании неизменным угла первого входного направляющего аппарата.

В соответствии с другим примером варианта выполнения, предлагается способ 35 выработки энергии, в котором используют турбодетандер, имеющий по меньшей мере две ступени расширения и соединенный с генератором. Способ включает этап регулирования (i) угла первого входного направляющего аппарата в первой ступени расширения турбодетандера для поддержания давления на входе первой ступени расширения в заданном диапазоне, и (ii) угла второго входного направляющего 40 аппарата во второй ступени расширения турбодетандера для поддержания давления на входе первой ступени расширения в заданном диапазоне; этап изменения угла второго входного направляющего аппарата при поддержании неизменным угла первого входного направляющего аппарата; этап определения вырабатываемой генератором мощности при соответствующих измененных углах; этап определения наибольшей 45 мощности из значений мощности, выработанной генератором, и соответствующего угла второго входного направляющего аппарата; и этап регулирования угла второго входного направляющего аппарата независимо от угла первого входного направляющего аппарата для достижения наибольшей мощности.

В соответствии с еще одним примерным вариантом выполнения, предложен машиночитаемый носитель, содержащий выполняемые компьютером команды, причем выполнение указанных команд обеспечивает реализацию способа выработки энергии, в котором используют турбодетандер, имеющий по меньшей мере две ступени расширения и соединенный с генератором. Этапы способа такие же, какие описаны в предыдущем абзаце.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

Примеры вариантов выполнения показаны на сопутствующих чертежах, на которых:

фиг. 1 изображает цикл Ренкина;

фиг. 2 изображает регулируемый направляющий аппарат в радиальной центро斯特ремительной турбине;

фиг. 3 иллюстрирует относительное расположение лопаток по отношению к зажимному кольцу в турбодетандере;

фиг. 4 изображает цикл Ренкина, соответствующий примерам вариантов выполнения;

фиг. 5 изображает входной направляющий аппарат ступени расширения турбодетандера, соответствующую примерным вариантам выполнения;

фиг. 6-8 иллюстрируют различные положения входной направляющей лопатки относительно проточного отверстия, соответствующие примерным вариантам выполнения;

фиг. 9 изображает элементы системы управления, соответствующей примерным вариантам выполнения;

фиг. 10 изображает блок-схему способа выработки энергии, соответствующего примерному варианту выполнения;

фиг. 11 изображает устройство, которое может работать в качестве контроллера установки выработки энергии, соответствующей примерным вариантам выполнения;

и

фиг. 12 изображает другую блок-схему способа выработки энергии, соответствующего примерным вариантам выполнения.

ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ

В нижеследующем подробном описании примерных вариантов выполнения имеются ссылки на сопроводительные чертежи. Однаковые номера позиций на разных чертежах обозначают одинаковые или сходные элементы. Кроме того, не все чертежи выполнены в масштабе. Также, нижеследующее подробное описание не ограничивает изобретение. Объем изобретения определен в прилагаемой формуле изобретения.

Приведенные в описании ссылки на «этот вариант выполнения» или на «какой-либо вариант выполнения» означают, что конкретный признак, конструкция или характеристика, описанные в связи с вариантом выполнения, содержатся по меньшей мере в одном варианте выполнения предлагаемого изобретения. Таким образом, фраза «в одном варианте выполнения» или «в каком-либо варианте выполнения» в различных местах настоящего описания не обязательно относится к одному и тому же варианту выполнения. Кроме этого, конкретные признаки, конструкции или характеристики могут сочетаться любым подходящим образом в одном или нескольких вариантах выполнения.

Как описано в разделе «Предпосылки изобретения» и показано на фиг. 1, цикл Ренкина может использоваться в установках для выработки энергии для использования части энергии отработанного тепла. В соответствии с примерами варианта выполнения, турбодетандер с несколькими ступенями расширения может дать возможность установке для выработки энергии работать при более высоком давлении (или в диапазоне более

высокого требуемого давления) с оптимизацией коэффициента полезного действия по мощности, например, генератора. Пример установки для выработки энергии (в которой некоторые компоненты традиционной установки Ренкина опущены для простоты и краткости), в которой есть такой типовой турбодетандер, будет описан со ссылкой на

5 фиг. 4. Однако, в соответствии с примерами вариантов выполнения, компоненты, описанные для цикла Ренкина и изображенные на фиг. 1, могут быть использованы в аналогичной установке для выработки энергии, которая использует типовой турбодетандер и установку управления, описанную ниже.

Сначала в установке повышают давление, и рабочая текучая среда циркулирует (в 10 направлении, указываемом стрелками) в установке с замкнутым циклом Ренкина с помощью насоса 402. Рабочую текучую среду, например, текучую среду ОЦР, нагнетают в испаритель 404, где ее испаряют. Указанный находящийся под давлением пар затем поступает в турбодетандер 406, содержащий первую ступень 408 расширения и вторую ступень 410 расширения. В одном примере выполнения можно использовать несколько 15 детандеров (физически отделенных друг от друга) вместо одного детандера, имеющего несколько ступеней. Обсуждаемые здесь новые признаки применимы и к нескольким детандерам и к единственному детандеру с несколькими ступенями. Первая ступень 408 расширения содержит входной направляющий аппарат 412, который регулирует количество/расход находящегося под давлением пара, входящего в первую ступень 20 408 расширения. Находящийся под давлением пар потребляет некоторое количество энергии при расширении и проходит во вторую ступень 410 расширения через другой входной направляющий аппарат 414, который также регулирует количество/расход пара, входящего во вторую ступень 410 расширения.

При расширении пара в ступенях 408 и 410 производится работа, которая 25 поворачивает их соответствующие валы 416, 418, которые соединены с коробкой 420 передач. Единственный вал 422 соединяет коробку 420 передач с генератором 424. Затем энергия 426 отбирается из генератора 424.

Обратимся снова к циклу Ренкина на фиг. 4. Расширявшийся пар покидает вторую ступень 410 расширения и выходит из турбодетандера 406 в рекуператор 428, который 30 выполнен с обеспечением теплообмена с рабочей текучей средой. Рабочая текучая среда затем проходит через другие ступени цикла Ренкина (не показаны) к насосу 402 для повторения цикла. Датчики 430 представляют собой датчики контроля давления, а датчик 432 представляет собой один или более датчиков, используемых для контроля коэффициента полезного действия по мощности (например, датчики тока и/или 35 напряжения). Контроллер 434 управляет настройками установки для выработки энергии.

Пример входного направляющего аппарата 412 изображен на фиг. 5. Входные направляющие лопатки 502 с изменяемой геометрией могут быть установлены в различных положениях или под разными углами, которые можно изменять для 40 управления потоком рабочей текучей среды, поступающим в ступень расширения. Кроме этого, в соответствии с примерными вариантами выполнения, путем управления положением лопаток 502, давление Р1 (показано на фиг. 4) можно регулировать таким образом, чтобы оно находилось в более высоком максимальном диапазоне. Для упрощения, на фиг. 6-8 показаны различные положения одной лопатки 502 по 45 отношению к соответствующему входу 602 для текучей среды. A₁ представляет собой открытую площадь входа 602 для текучей среды, а A₀₁ представляет площадь входа 602 для текучей среды, закрытую входной направляющей лопаткой 502 с изменяемой геометрией. На фиг. 6 вход 602 показан полностью открытым, на фиг. 7 вход 602 показан частично открытым, а на фиг. 8 вход 602 показан полностью перекрытым. Хотя на

фиг. 6-8 изображены только три положения, возможны и другие угловые положения лопаток 502. К тому же, различные положения лопаток 502 относительно входа 602 создают регулируемый направляющий аппарат с изменяемой геометрией входа для текучей среды, поступающей в секции расширения турбодетандера 406.

5 В соответствии с примерами вариантами выполнения, как описано выше, контроллер 434 может управлять настройками, параметрами, программным обеспечением и другими средствами управления, связанными с установкой для выработки энергии. Различные элементы управления и примеры каналов связи показаны на фиг. 9, включая контроллер 434. Другие средства управления могут содержать датчик(и) 432 мощности, которые
10 могут использоваться для сбора информации о токе, напряжении и/или другой относящейся к мощности информации, от соответствующей силовой установки, например, генератора. Датчики 430 давления могут использоваться для сбора данных о давлении в различных местах цикла выработки энергии.

Другие управляющие устройства 902, как показано на фиг. 9, также могут
15 использоваться в установке для выработки энергии. Все указанные элементы управления могут сообщаться с контроллером 434, однако, также могут существовать другие каналы связи, например, резервный канал связи, или другие прямые каналы между элементами управления. Контроллер 434 также сообщается с турбодетандером 406 и со средствами управления входными направляющими аппаратами 412 и 414. Это дает
20 возможность контроллеру 434 выдавать команды на изменение угла входных направляющих аппаратов 412 и 414. Несмотря на то, что контроллер 434 изображен как один блок, установка может содержать несколько контроллеров 434 с необходимым распределением функций между ними. Кроме этого, описанные здесь примерные варианты выполнения могут быть реализованы с контроллером 434, встроенным в
25 другое оборудование, например, в средства управления турбодетандером 406.

В соответствии с примерными вариантами выполнения, использование примерной установки и описанных выше управляющих элементов, установок и способов, позволяет в турбодетандере с двумя (или большим числом) ступенями в первой ступени расширения регулировать верхнее давление цикла Ренкина в таком диапазоне давления, что вторая
30 ступень расширения может регулироваться сама, автоматически определяя оптимальную степень расширения, соответствующую максимуму выходной мощности, например, от генератора в соответствующей установке для выработки энергии. В соответствии с примерными вариантами выполнения, указанный примерный способ может быть реализован при работе установки для выработки энергии с частичной нагрузкой для
35 повышения выходной мощности. Как будет более подробно обсуждено ниже, при некоторых условиях (условие дросселирования) эффективность детандера прямо пропорциональна выходной мощности генератора, приводимого в действие турбодетандером. Этот способ может быть выполнен, как показано на блок-схеме на фиг. 10. Сначала установка для выработки энергии работает, и имеется начальная
40 величина давления Р1 рабочей текучей среды на этапе 1002 при прохождении среды во входной направляющий аппарат 412 первой ступени расширения турбодетандера. Входной аппарат 412 регулирует поток газа для достижения и поддержания требуемого установленного значения Р1, например, 50 бар в требуемом диапазоне, например, в диапазоне +/- 0,5 бар на этапе 1004.

45 В соответствии с примерными вариантами выполнения, входной аппарат 412 регулируется, например, контроллером 434, для настройки угла лопаток с целью получения требуемого давления Р1, которое может быть определено или задано, например, с помощью оптимальных рабочих параметров установки. В то время как

входной аппарат 412 регулирует поток газа для первой ступени, входной направляющий аппарат 414 регулирует поток газа для второй ступени, как показано на этапе 1006. Входной аппарат 414 регулирует поток газа описанным ниже способом так, чтобы не нарушать давление в установке, когда входной аппарат 412 регулирует поток газа. Это 5 не дает входному направляющему аппарату 412 постоянно изменять угол лопаток для достижения и поддержания требуемой величины Р1 в заданном диапазоне. При падении Р1 в пределах диапазона с центром, равным заданному значению, входной направляющий аппарат 412 зафиксирован, а входной направляющий аппарат 414 начинает динамически регулировать поток газа через вторую ступень турбодетандера 10 для максимизации эффективности расширения в турбодетандере, как показано на этапе 1008. Указанная максимизация эффективности расширения связана с максимизацией выходной мощности соответствующего генератора 426. Эффективность расширения в турбодетандере, упоминаемая здесь, описана следующим уравнением (1):

$$\text{КПД расширения} = \frac{\text{Выработка электроэнергии}}{\text{Энталпия потока}} \quad (1)$$

15 причем энталпия потока становится постоянной, когда входной направляющий аппарат 412 зафиксирован и вход в турбодетандер дросселируется. Следует отметить, что когда вход в турбодетандер дросселируется, то через устройство протекает постоянный массовый расход. Для упрощения расчетов, обе ступени турбодетандера рассматриваются как дросселированные. Так как в условиях дросселирования энталпия 20 потока постоянна, то эффективность расширения в турбодетандере пропорциональна выработке электроэнергии соответствующим генератором.

Учитывая, что входной аппарат 412 остается в неизменном состоянии, входной направляющий аппарат 414 регулируют для поворота лопаток на разные углы для изменения количества вырабатываемой энергии. Указанную выходную мощность 25 измеряют и, в одном из вариантов, сохраняют в базе данных. Контроллер 434 выбирает точку максимума выходной мощности, поворачивая входные направляющие лопатки 414 вверх и вниз от их начального углового положения и сохраняет данные для каждого положения лопаток. В соответствии с примером варианта выполнения, указанные повороты могут продолжаться около 20 секунд, однако, при необходимости можно 30 использовать другие промежутки времени. Для каждого углового положения лопатки определяют выходную мощность генератора 424, как показано на этапе 1010. Если в результате определения получена не максимальная мощность, процесс повторяют, в противном случае процесс заканчивают, а угол положения входных направляющих лопаток 414 остается фиксированным. В одном из вариантов контроллер 434 определяет 35 из базы данных угол входных направляющих лопаток 414, соответствующий максимуму выходной мощности генератора 424, и соответственно устанавливает входные направляющие лопатки 414 под указанным углом. Процесс поворота лопаток можно повторить и перепроверить через некоторое время, если потребуется. Кроме этого, если Р1 выходит за пределы нужного диапазона из-за изменений в установке, например 40 изменений нагрузки, которые могут влиять на температуру и давление рабочей текучей среды, то весь процесс, показанный на блок-схеме на фиг. 10, можно повторить. В одном из примеров, если Р1 выходит за пределы нужного диапазона, входные направляющие лопатки 414 выполнены с возможностью прекращения поддержания угла, максимизирующего эффективность турбодетандера 406, и с возможностью 45 отслеживания поворотов входных направляющих лопаток 412, пока значение Р1 не вернется в требуемый диапазон.

В соответствии с примерными вариантами выполнения, можно использовать различные алгоритмы для описания отношения между входными направляющими

аппаратами 412 и 414 на различных этапах регулирования соответствующих потоков газа. В описанных ниже алгоритмах сделаны допущения о большом их количестве, а также о работе установки в условиях дросселирования. В соответствии с примерным вариантом выполнения, когда входной направляющий аппарат 412 первым начинает 5 регулировать поток газа (или перед самым началом регулирования потока газа) для попадания в требуемый диапазон давления, функциональное зависимость между двумя ступенями может быть описана следующим уравнением (2):

$$A_2 = A_1 \cdot f(P_1, P_2, T_1, T_2), \quad (2)$$

10 где A_1 - площадь входа текучей среды, не перекрытая входным направляющим аппаратом 412 (см. фиг. 7), A_2 - площадь входа текучей среды, не перекрытая входным направляющим аппаратом 414 (не показана, но аналогична A_1 на фиг. 7), P_1 - давление рабочей текучей среды в аппарате 412 первой ступени, P_2 - давление рабочей текучей 15 среды в аппарате 414, T_1 - температура рабочей текучей среды в аппарате 412, T_2 - температура рабочей текучей среды в аппарате 414.

В соответствии с другим примерным вариантом выполнения, когда входной аппарат 412 первым начинает регулировать (или перед самым началом регулирования потока газа) для попадания в требуемый диапазон давления, соотношение между двумя 20 ступенями может быть описано следующим уравнением (3).

$$\frac{A_1}{A_{t1}} = \frac{A_2}{A_{t2}} \quad (3)$$

25 где A_{t1} - полная площадь (см. $A_1 + A_{01}$ на фиг. 7) входа текучей среды через входной аппарат 412, а A_{t2} - полная площадь (не показана, но аналогична A_{t1} на фиг. 7) входа текучей среды через входной аппарат 414.

В соответствии с другим примером варианта выполнения, когда входной аппарат 412 регулирует поток газа для попадания в требуемый диапазон давления, соотношение 30 между входными направляющими аппаратами 412 и 414 устанавливают так, чтобы аппарат 414 практически не влиял на давление потока газа, поступающего во входной аппарат 412. В такой ситуации входной аппарат 414 должен отслеживать входной аппарат 412 на основе следующего уравнения (4):

$$35 A_2 = A_1 \cdot \frac{\rho_1}{\rho_2} \cdot \sqrt{\frac{T_1}{T_2}}, \quad (4)$$

где ρ_1 - плотность рабочей текучей среды во входном аппарате 412, а ρ_2 - плотность рабочей текучей среды во входном аппарате 414.

40 В соответствии с другим примером варианта выполнения, когда входной направляющий аппарат 412 отрегулировал поток газа для попадания давления в требуемый диапазон и давление стабильно, угол направляющего аппарата 412 фиксирован и только угол входного аппарата 414 регулируют до тех пор, пока эффективность турбодетандера 406 не станет максимальной. Таким образом, входной 45 направляющий аппарат 414 становится независимым от входного направляющего аппарата 12 и площадь A_2 незаблокированного входа текучей среды для аппарата 414

$$A_2 = \frac{m}{\sqrt{k} \cdot \left(\frac{k+1}{2}\right)^{\frac{1}{k-1}} \cdot \rho_2 \sqrt{R \cdot T_2}}, \quad (5)$$

описана уравнением (5):

5 где k - изэнтропический коэффициент газа, m - массовый расход рабочей текучей среды и R - газовая постоянная. С данного момента входной направляющий аппарат 414 может поворачиваться вверх и вниз на углы различной величины для определения максимального значения выходной мощности генератора 424, которое, как описано выше, связано с максимальной эффективностью расширения турбодетандера 406.

10 Указанные повороты, управляемые контроллером 434 (или одним из его соответствующих элементов управления), выполняются в диапазоне, обеспечивающем удержание $P1$ в заданном интервале. Однако, если $P1$ покидает заданный (требуемый) интервал, то процесс поворота входного направляющего аппарата 414

15 приостанавливается, и входной направляющий аппарат 412 начинает регулировать поток газа для возврата $P1$ в заданный интервал. Различные значения углов и измеренные переменные, характеризующие эффективность детандера для входного направляющего аппарата 414 можно сохранить в запоминающем устройстве. После того, как процесс поворотов завершен, контроллер 434 может сравнить сохраненные величины и выбрать значение, соответствующее максимальной эффективности расширения турбодетандера 406 и установить это значение на входном направляющем аппарате 414 для получения выбранной величины.

20 25 В соответствии с дополнительным примером варианта выполнения, турбодетандер 406 может иметь больше двух ступеней расширения, по меньшей мере, одну ступень расширения, регулирующую давление установки, и другую ступень расширения, максимизирующую коэффициент полезного действия по мощности.

30 В соответствии с примерными вариантами выполнения, при использовании входного направляющего аппарата 412 первой ступени 408 расширения для регулировки давления, отсутствует необходимость в специальном клапане, соответствующем рабочей жидкой среде, предназначенном для управления давлением установки при поступлении жидкой рабочей среды в первую ступень 408 расширения. Кроме этого, примеры вариантов выполнения можно использовать в ситуациях, когда условия работы установки, вырабатывающей энергию, изменяются, например, при частичной нагрузке и изменении температуры окружающей среды.

35 В соответствии с примерами вариантов выполнения, в качестве рабочей текучей среды в цикле Ренкина можно использовать среду ОЦР. Примеры текущих сред ОЦР включают в себя, но не ограничиваются, пентан, пропан, циклогексан, циклопентан, бутан, фтористый углеводород, такой как R-245fa, и кетон, такой как ацетон или ароматические, такие как толуол или тиофен. Однако, как отмечено в разделе «Предпосылки изобретения», если непосредственно подвергать их воздействию высоких 40 температур, существует опасность деградации текучей среды ОЦР. Поэтому, в соответствии с примерными вариантами выполнения, в установках для выработки энергии, использующих примерный турбодетандер 406, можно использовать промежуточный термомасляный контур или другую текучую среду.

45 В описанных выше примерных вариантах выполнения, предлагаются способы и установки для регулирования верхнего давления в цикле Ренкина и затем максимизации коэффициента полезного действия по мощности, например, генератора 426. Контроллер 434 (как показано на фиг. 11) может содержать процессор 1102 (или несколько ядер процессора), запоминающее устройство 1104, одно или более внешних запоминающих

устройств 1106, интерфейс 1108 связи и приложение программного обеспечения 1110. Процессор 1102 может выполнять команды для осуществления описанных здесь вариантов выполнения. Дополнительно, процессор 1102 может содержать команды, обеспечивающие поддержку работы и управления установкой для выработки энергии.

- 5 Запоминающее устройство 1104 может хранить эти команды, а также информацию датчика и результаты, полученные при поворотах лопаток. Дополнительно, информация, связанная с Р1 и с диапазоном давления и ей подобная, может также быть сохранена в контроллере 434. Приложение программного обеспечения 1110 может представлять программы, связанные с описанным здесь примерным вариантом выполнения, а также
- 10 программы, связанные с установкой для выработки энергии. Интерфейс 1108 связи может обмениваться информацией с датчиками, другими контроллерами и им подобными, для эксплуатации установки для выработки энергии и передачи команд, связанных с изменением углов входных направляющих аппаратов. Соответственно, описанными выше примерными вариантами выполнения может управлять контроллер
- 15 434.

В соответствии с примерными вариантами выполнения, способ выработки электроэнергии включает использование турбодетандера, по меньшей мере, с двумя ступенями расширения, как показано на блок-схеме на фиг. 12. Способ включает этап 1200 регулирования (i) углы первого входного направляющего аппарата в первой

- 20 ступени расширения турбодетандера для поддержания входного давления первой ступени расширения в заданном диапазоне, и (ii) угла второго входного направляющего аппарата во второй ступени расширения турбодетандера для поддержания входного давления первой ступени расширения в заданном диапазоне; этап 1202 изменения угла второго входного направляющего аппарата при поддержании неизменным угла первого
- 25 входного направляющего аппарата; этап 1204 определения мощности, создаваемой устройством для выработки электроэнергии, для соответствующих изменяющихся углов; этап 1206 определения наибольшей мощности, созданной генераторной установкой, и соответствующего угла второго входного направляющего аппарата; и этап 1208 регулирования угла второго входного направляющего аппарата независимо
- 30 от угла первого входного направляющего аппарата, для достижения наивысшей мощности.

Описанные выше примерные варианты выполнения предназначены для описания, а не ограничения данного изобретения. Поэтому представленное изобретение выполнено с возможностью изменения при практической реализации специалистом на основе

- 35 данного описания. Все подобные изменения и модификации считаются находящимися в пределах объема и сущности представленного изобретения, определенного в следующей формуле. Ни один элемент, действие или команда, использованные в описании представленного изобретения, не следует толковать как критические или существенные по отношению к изобретению, если ясно не указано другое. Также как
- 40 упоминание элемента в единственном числе предназначено для обозначения одного или более элементов.

В этом описании используются примеры для раскрытия изобретения, включая наилучший вариант, а также обеспечивая реализацию изобретения специалистом в данной области, включая создание и использование любых приборов или установок и

- 45 выполнение соответствующих способов. Объем охраны изобретения определен пунктами формулы изобретения и может включать другие примеры, которые очевидны специалистам. Такие другие примеры считаются находящимися в пределах объема изобретения, если имеют конструктивные элементы, которые не отличаются от формулы

изобретения, или если содержат эквиваленты конструктивных элементов, указанных в формуле изобретения.

Формула изобретения

1. Установка для выработки электроэнергии, содержащая турбодетандер, имеющий по меньшей мере две ступени расширения и соединенный с генератором, содержащая: контроллер, выполненный с возможностью регулирования (i) угла первого входного направляющего аппарата, расположенного на входе первой ступени расширения турбодетандера, для поддержания давления на входе первой ступени расширения в заданном диапазоне, и (ii) угла второго входного направляющего аппарата, расположенного на входе второй ступени расширения турбодетандера, для поддержания давления на входе первой ступени расширения в указанном заданном диапазоне, причем контроллер выполнен с возможностью изменения угла второго входного направляющего аппарата при поддержании неизменным угла первого входного направляющего аппарата и определения мощности, вырабатываемой генератором, при соответствующих измененных углах, и

указанный контроллер выполнен с возможностью определения наибольшей мощности из полученных значений мощности генератора и соответствующего угла второго входного направляющего аппарата и с возможностью регулирования угла второго входного направляющего аппарата независимо от угла первого входного направляющего аппарата для достижения наибольшей мощности.

2. Установка по п.1, в которой первая ступень расширения содержит первый входной направляющий аппарат, вторая ступень расширения турбодетандера содержит второй входной направляющий аппарат, и генератор механически соединен с первой и второй ступенями турбодетандера.

3. Установка по п.1, в которой генератор работает в установке по циклу Ренкина, в которой используется органическая рабочая текучая среда Ренкина.

4. Установка по п.1, дополнительно содержащая:

по меньшей мере один датчик, соединенный с контроллером, расположенный на генераторе и выполненный с возможностью измерения тока или напряжения, вырабатываемых генератором,

по меньшей мере один датчик, соединенный с контроллером, расположенный в генераторе и выполненный с возможностью измерения давления рабочей текучей среды, конденсатор, проточно сообщающийся с выходной стороной турбодетандера и выполненный с возможностью приема потока расширенного пара и его конденсации в поток жидкости,

насос, проточно сообщающийся с выходной стороной конденсатора и выполненный с возможностью приема потока жидкости, повышения давления потока жидкости и передачи указанного потока жидкости в теплообменник, и

теплообменник, проточно сообщающийся с выходной стороной насоса и выполненный с возможностью приема находящегося под давлением потока жидкости и испарения этого потока жидкости в поток сжатого пара.

5. Установка по п.1, в которой контроллер выполнен для первой и второй ступеней расширения.

6. Установка по п.1, в которой контроллер выполнен с возможностью поддержания заданного соотношения между углом первого входного направляющего аппарата и углом второго входного направляющего аппарата во время регулирования входного давления первой ступени расширения в указанном заданном диапазоне, причем

указанное заданное соотношение имеет вид: $A_2 = A_1 \cdot f(P_1, P_2, T_1, T_2)$, где A_1 - площадь входа для текучей среды, не перекрытая лопатками первого входного направляющего аппарата, A_2 - площадь входа для текучей среды, не перекрытая лопатками второго входного направляющего аппарата, P_1 - давление рабочей текучей среды в первом входном направляющем аппарате, P_2 - давление рабочей текучей среды во втором входном направляющем аппарате, T_1 - температура рабочей текучей среды в первом входном направляющем аппарате, T_2 - температура рабочей текучей среды во втором входном направляющем аппарате, f обозначает функцию.

7. Установка по п.1, в которой контроллер выполнен с возможностью поддержания заданного соотношения между углом первого входного направляющего аппарата и углом второго входного направляющего аппарата при регулировании давления на входе первой ступени расширения в указанном диапазоне, и указанное

заданное соотношение имеет вид: $\frac{A_1}{A_{t1}} = \frac{A_2}{A_{t2}}$, где A_1 - площадь входа для текучей среды, не перекрытая лопатками первого входного направляющего аппарата, A_2 - площадь входа для текучей среды, не перекрытая лопатками второго входного направляющего аппарата, A_{t1} - полная площадь входа для текучей среды в первом входном направляющем аппарате, а A_{t2} - полная площадь второго входа для текучей среды во втором входном направляющем аппарате.

8. Установка по п.1, в которой контроллер выполнен с возможностью поддержания заданного соотношения между углом первого входного направляющего аппарата и углом второго входного направляющего аппарата во время регулирования давления на входе первой ступени расширения в заданном диапазоне, и заданное соотношение

имеет вид: $A_2 = A_1 \cdot \frac{\rho_1}{\rho_2} \cdot \sqrt{\frac{T_1}{T_2}}$, где A_1 - площадь входа для текучей среды, не перекрытая лопатками первого входного направляющего аппарата, A_2 - площадь входа для текучей среды, не перекрытая лопатками второго входного направляющего аппарата, ρ_1 - плотность рабочей текучей среды в первом входном направляющем аппарате, ρ_2 - плотность рабочей текучей среды во втором входном направляющем аппарате, T_1 - температура рабочей текучей среды в первом входном направляющем аппарате, а T_2 - температура рабочей текучей среды во втором входном направляющем аппарате.

9. Установка по п.1, в которой определение наибольшей мощности выполняется путем повторяемого регулирования угла второго входного направляющего аппарата в течение заданного отрезка времени и измерения выходной мощности генератора для каждого конкретного измененного угла при поддержании неизменным угла первого входного направляющего аппарата.

10. Способ выработки электроэнергии, в котором используют турбодетандер, имеющий по меньшей мере две ступени расширения и соединенный с генератором, включающий

регулирование (i) угла первого входного направляющего аппарата в первой ступени расширения турбодетандера для поддержания давления на входе первой ступени расширения в заданном диапазоне и (ii) угла второго входного направляющего аппарата во второй ступени расширения турбодетандера для поддержания давления на входе

первой ступени расширения в указанном заданном диапазоне,

изменение угла второго входного направляющего аппарата при поддержании неизменным угла первого входного направляющего аппарата,

определение мощности, вырабатываемой генератором при соответствующих

изменяемых углах,

определение наибольшей мощности из измеренных значений мощности, вырабатываемой генератором, и соответствующего угла второго входного направляющего аппарата, и

настройку угла второго входного направляющего аппарата независимо от угла

первого входного направляющего аппарата для достижения наибольшей мощности.

15

20

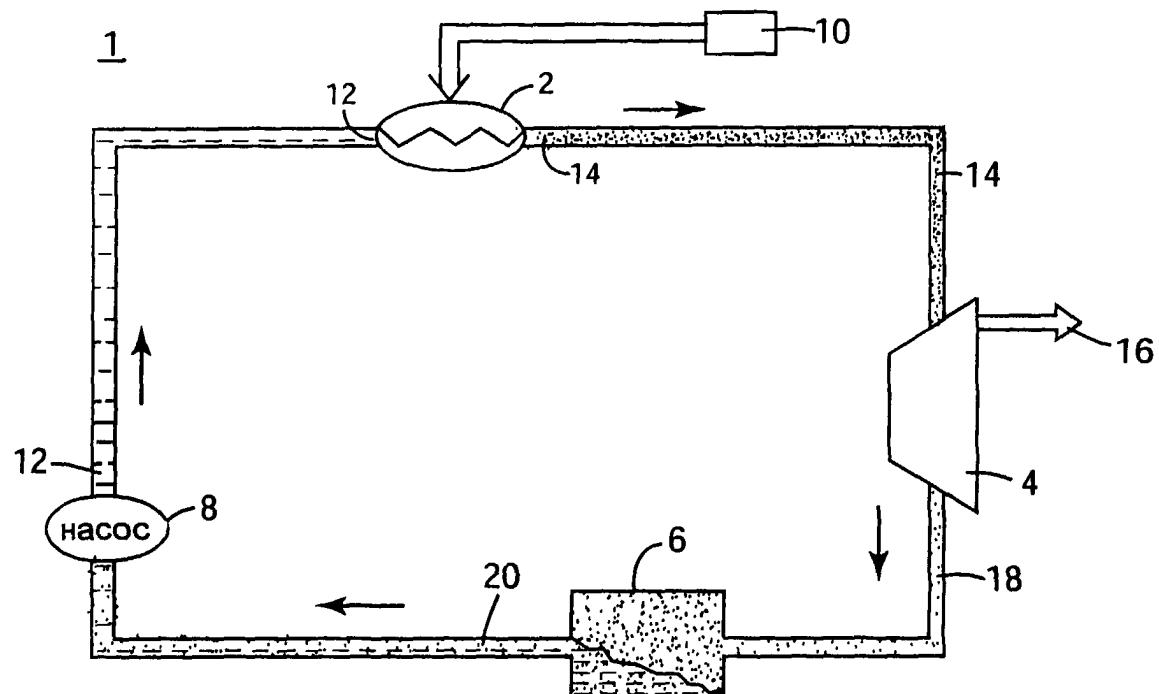
25

30

35

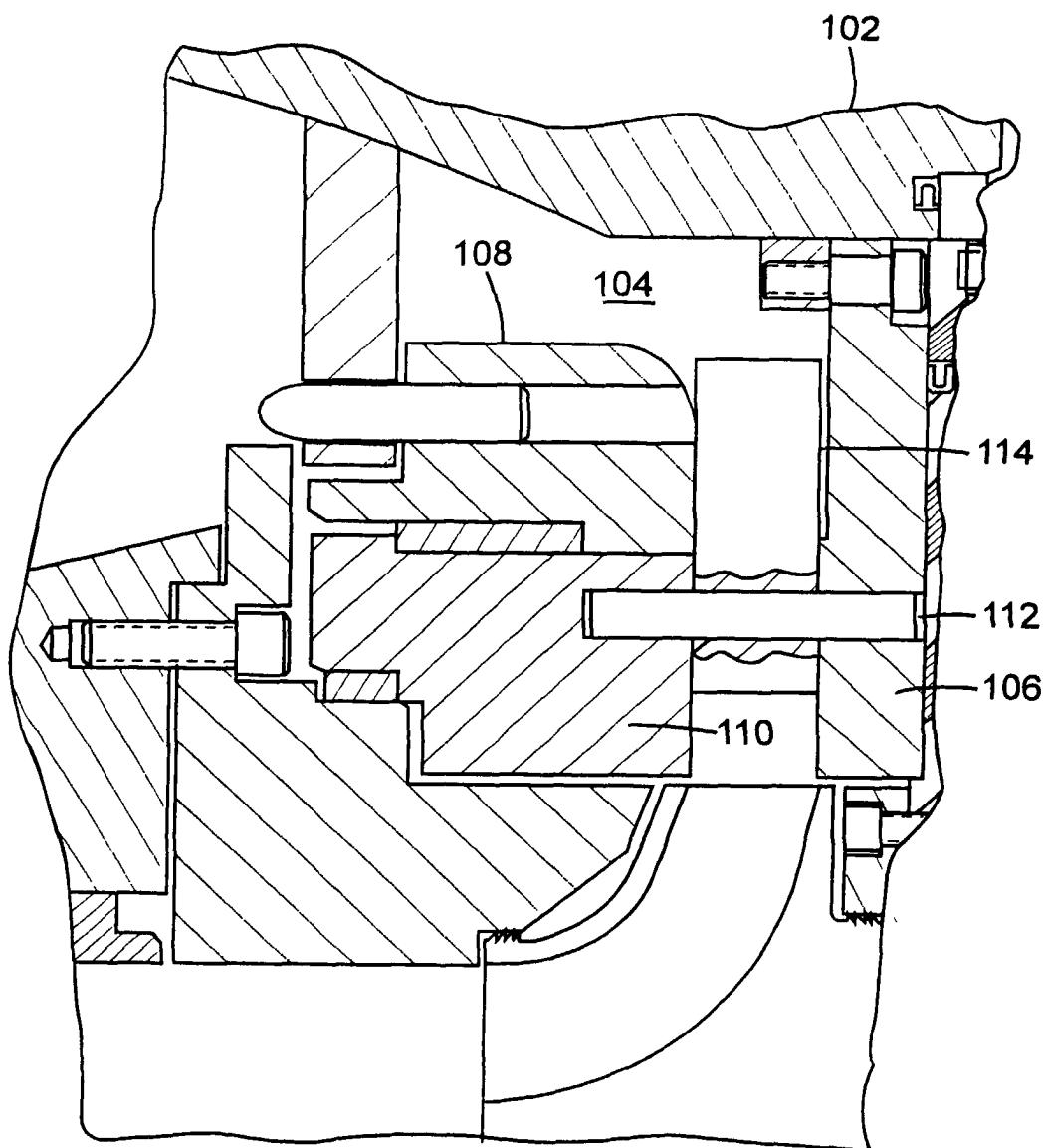
40

45



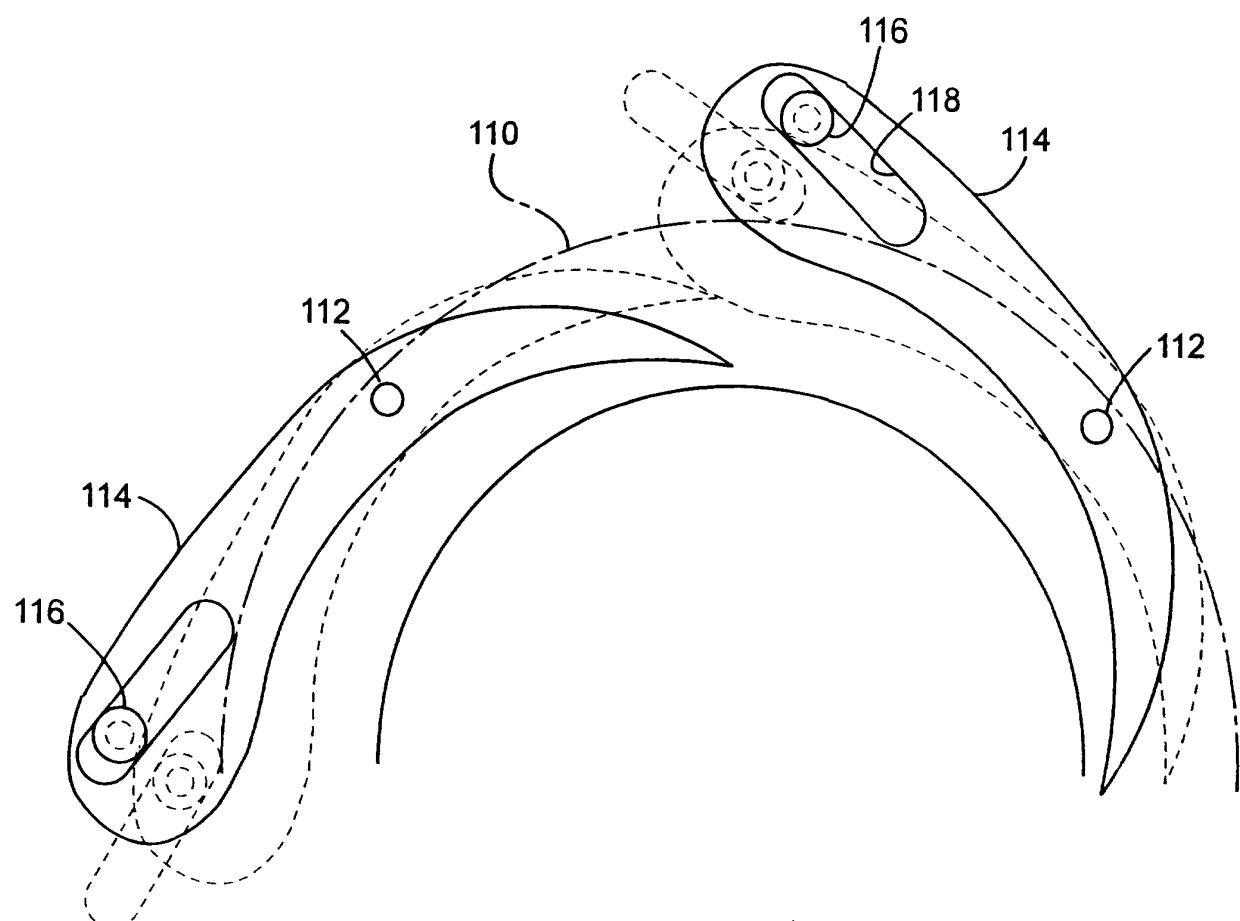
(Уровень техники)

Фиг.1



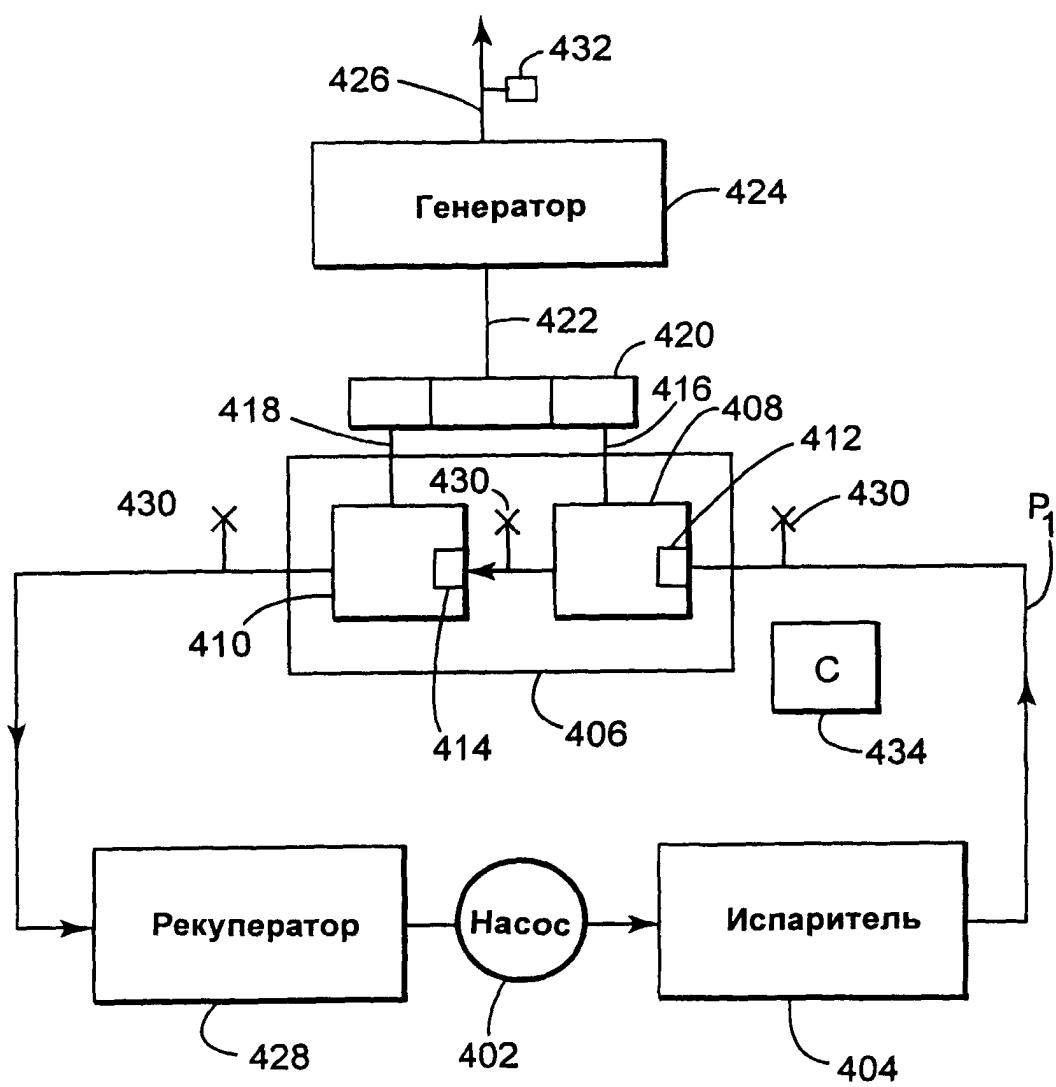
(Уровень техники)

Фиг.2

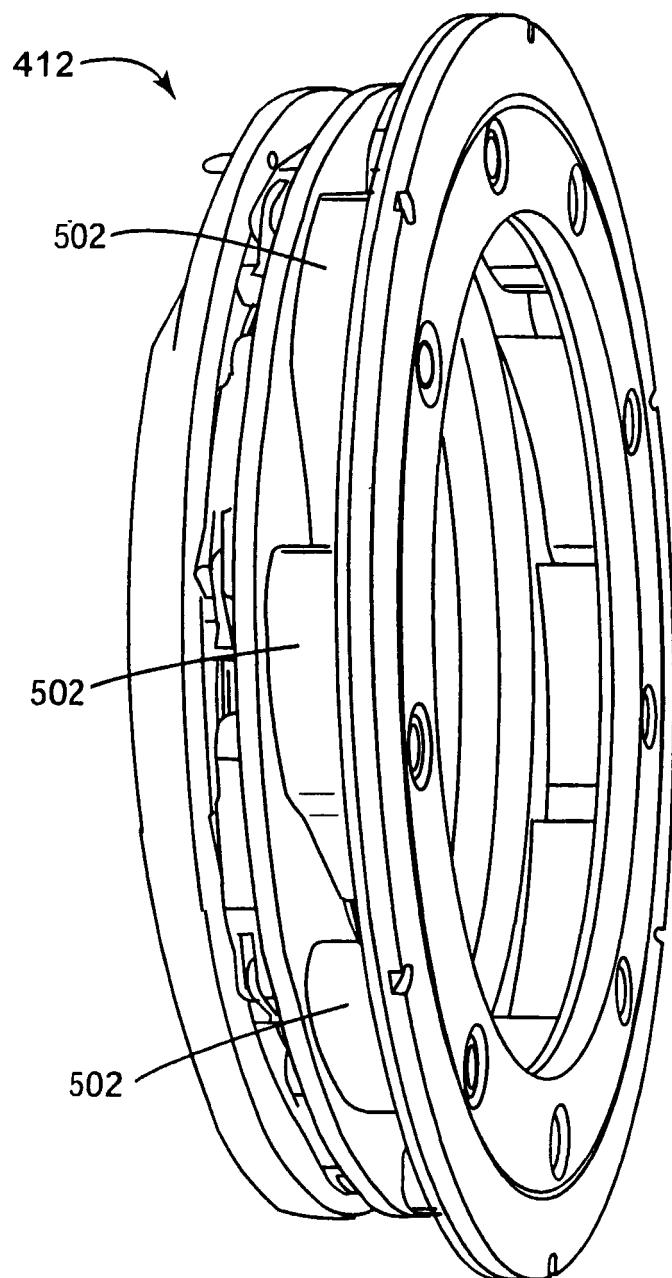


(Уровень техники)

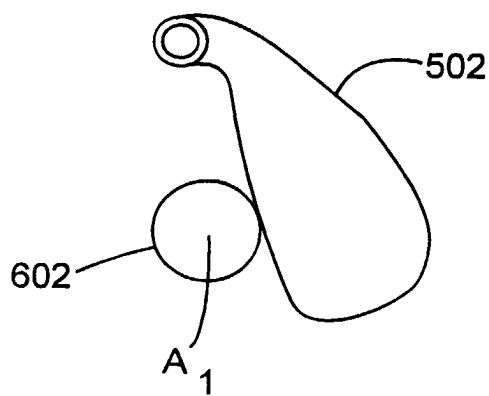
Фиг.3



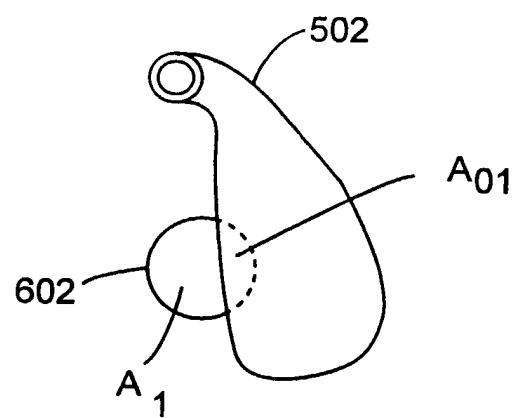
Фиг.4



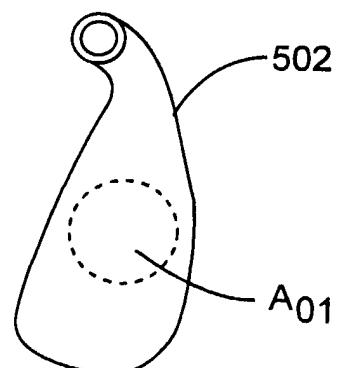
Фиг.5



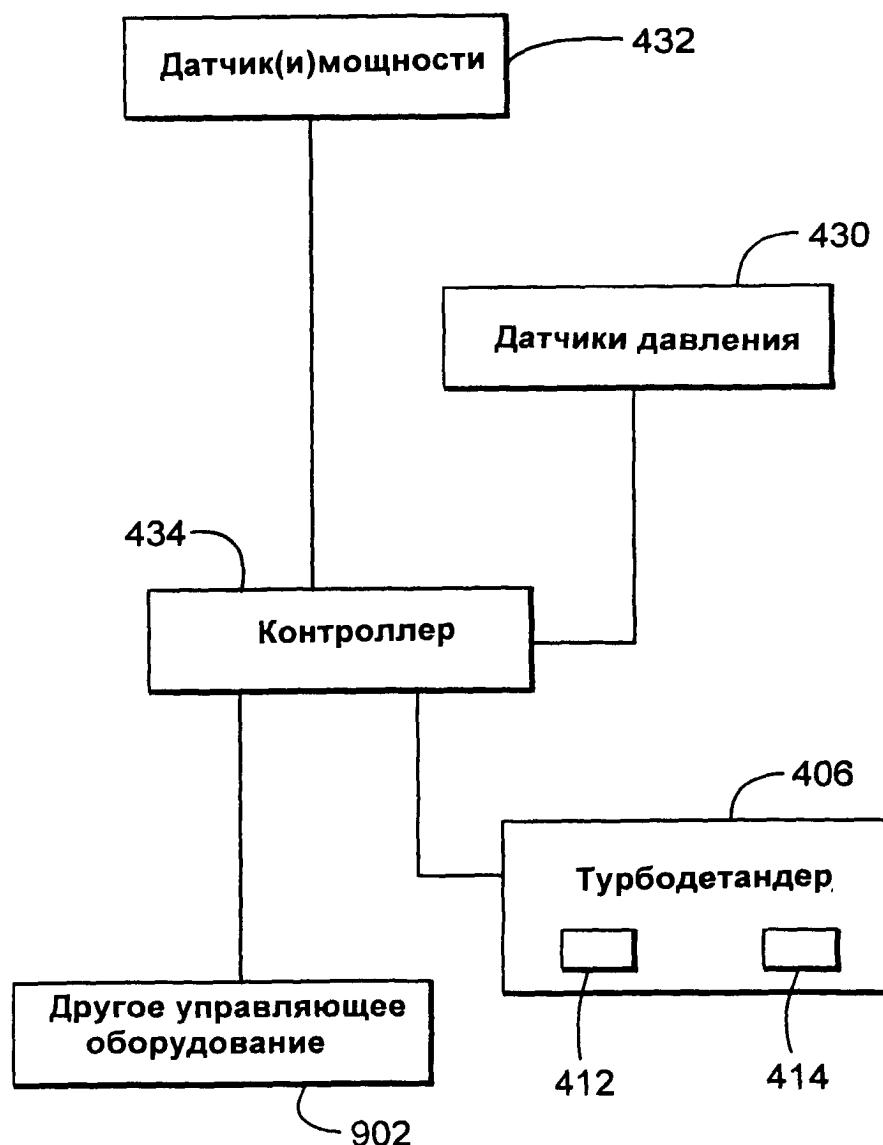
Фиг.6



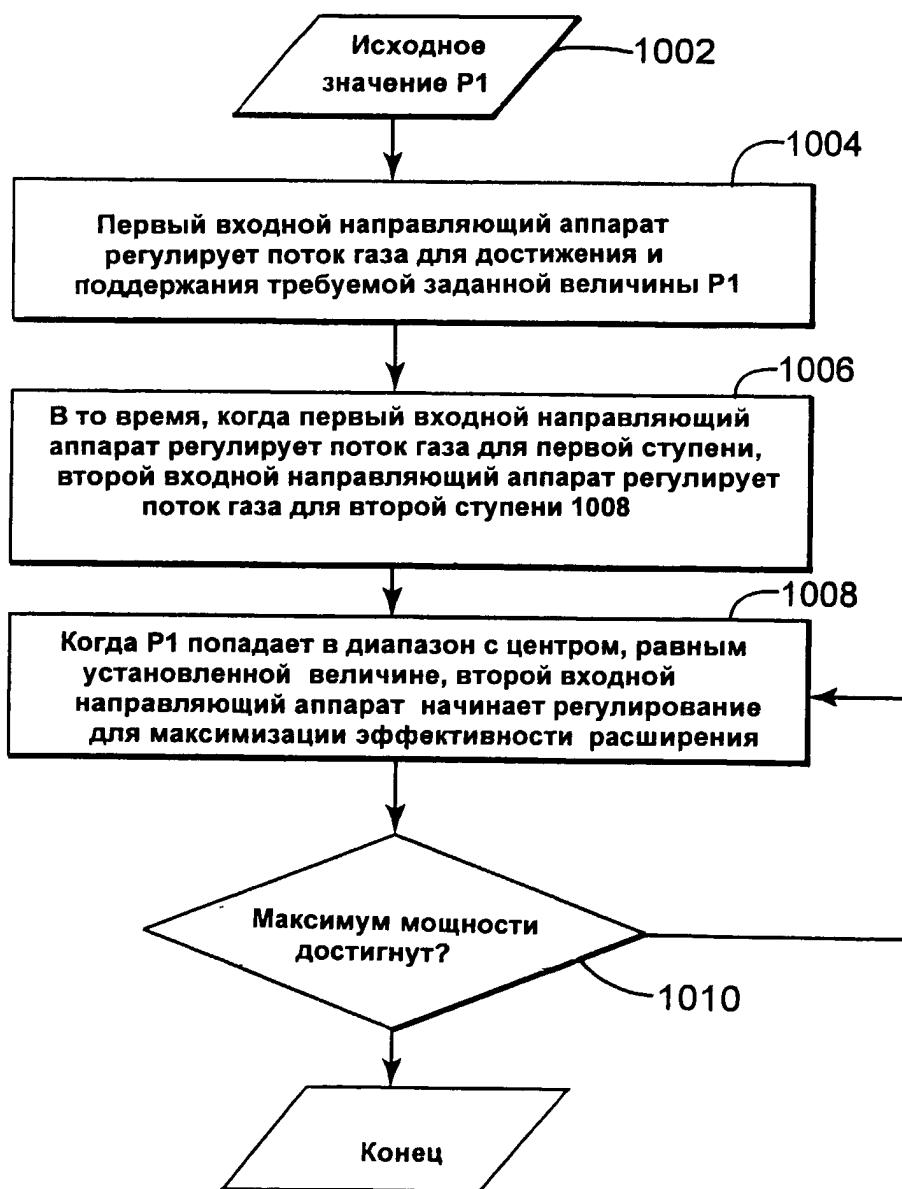
Фиг.7



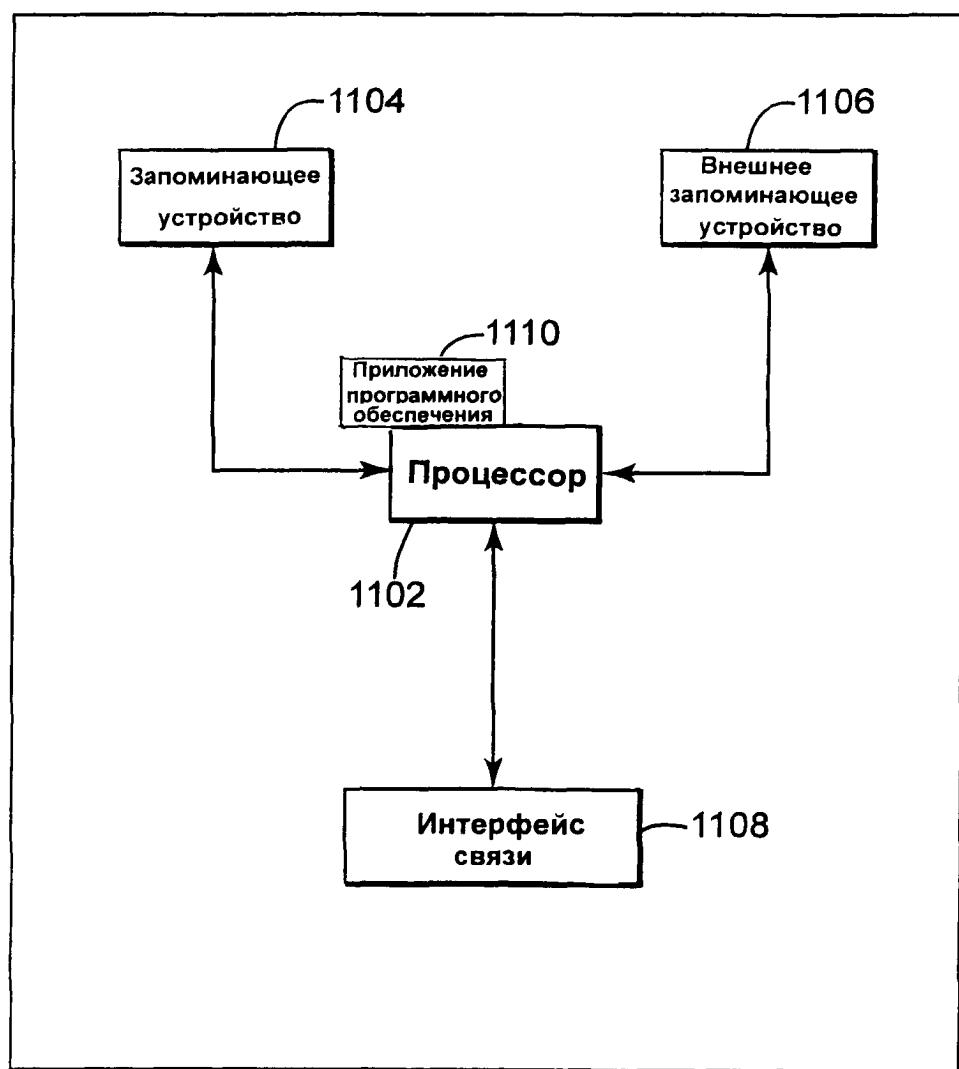
Фиг.8



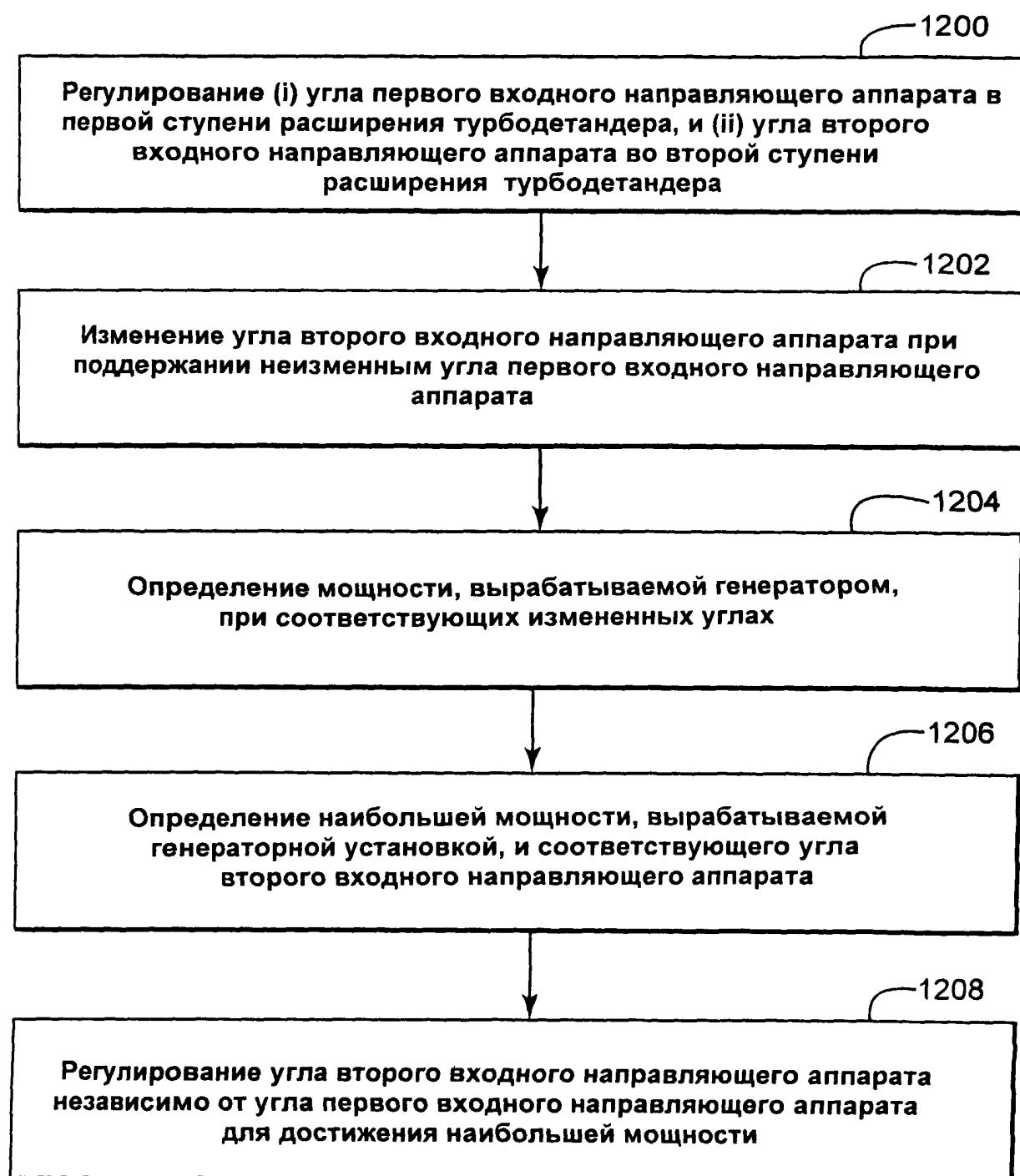
Фиг.9



Фиг.10

434

Фиг.11



Фиг.12