

Обзор современных конструкций турбодетандерных генераторов

1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1.1. Введение

В этом столетии, по многочисленным исследованиям экспертов, будет наблюдаться резкое возрастание роли природного газа в энергетике многих стран. Опубликованные прогнозы свидетельствуют, что к 2030 году потребление газа в мире может удвоиться, а межрегиональные поставки утроиться. В России за 20 лет планируется увеличение добычи природного газа на 27 %, и общий объем добываемого газа будет достигать 750 млрд. куб. м в год.

Доля природного газа в мировом топливно-энергетическом комплексе, как ожидается, в первой половине XXI века возрастет до 30 %, а в России к 2015 году составит 57 %.

Для достижения цели стабильного, бесперебойного и экономически эффективного удовлетворения постоянно возрастающего внутреннего и внешнего спроса на природный газ Энергетической стратегией России на период до 2020 года предусматривается сокращение потерь и снижение затрат на всех стадиях технологического процесса при добыче, подготовке и транспорте газа, а также решение задач ресурсо- и энергосбережения.

С точки зрения энергосбережения в газотранспортной системе на сегодня весьма перспективной является утилизация энергии избыточного давления природного газа в турбодетандере. Турбодетандером называется утилизационная (т.е. не потребляющая топлива) расширительная турбина, механически связанная с потребителем ее мощности, например электрогенератором, компрессором и т.п.

В газовой промышленности турбодетандеры используются для:

- 1) пуска газотурбинной установки газоперекачивающего агрегата, а также для проворачивания ее ротора при остановке (с целью его охлаждения); при этом турбодетандер работает на транспортируемом газе с выпуском его после турбины в атмосферу.
- 2) охлаждения природного газа (при его расширении в турбине) в установках его сжижения.
- 3) охлаждения природного газа в установках его «промысловой» подготовки для транспорта по трубопроводной системе (удаление влаги путем ее вымораживания и т.п.).
- 4) привода компрессора высокого давления с целью подачи газа в пиковые хранилища.
- 5) выработки электроэнергии на газораспределительных станциях (ГРС) системы транспорта природного газа к его потребителям с использованием в турбине перепада давлений газа между трубопроводами высокого и низкого давления.

Последний из упомянутых пунктов и является предметом рассмотрения настоящего документа.

1.2. Использование турбодетандеров на ГРС для выработки электроэнергии.

Каждый день во всем мире огромное количество природного газа транспортируется по трубопроводам от источников до потребителей. Компрессоры большой мощности, приводимые в действие, в основном, газотурбинными двигателями, используются для сжатия газа с целью его транспортировки. Такое же оборудование используется во многих пунктах (компрессорных станциях) по длине газопровода для компенсации потерь давления газа от трения, поддерживая, таким образом, необходимое давление газа по длине газопровода. Как только газ достигает области распределения, он, обычно, передается от газотранспортной компании к компании, которая обслуживает потребителей газа. Так как газ, обычно, транспортируется при давлении, во много раз превышающем, чем требуется конечному потребителю, то между трубопроводами транспорта газа и сетью его распределения установлены так называемые газораспределительные станции (ГРС). ГРС, в основном, состоит из дроссельных клапанов и подогревателей газа. Подогреватель газа необходим для компенсации температурных потерь в дроссельных клапанах. Аналогичные устройства, называемые газораспределительными пунктами (ГРП), обычно, устанавливаются между сетью распределения газа и его конечными пользователями.

Энергия потребляется, как в процессе сжатия газа, так и в процессе его расширения. При этом потребление энергии в процессе сжатия газа происходит в результате работы, которую необходимо совершить для сжатия газа до давления в трубопроводе и поддержания этого давления на требуемом уровне в процессе его транспортировки. В процессе расширения газа на ГРС и ГРП энергия потребляется для восстановления его температуры после охлаждения в результате этого расширения.

Восстановление этой энергии на ГРС и крупных ГРП возможно путем замены дроссельных клапанов турбодетандером, что позволяет генерировать электричество или произвести другую полезную работу. Однако следует отметить, что при этом часть этой энергии должна быть затрачена на подогрев газа. Газ должен быть подогрет для предотвращения выпадения из него газгидратов в облопатывание турбины, приводящего к снижению ее надежности. Для этого необходимо, чтобы температура газа за турбиной составляла не менее $+5^{\circ}\text{C}$. Кроме того, необходимо, чтобы она не превышала допустимую температуру, гарантирующую надежную работу теплоизоляционного и антикоррозийного покрытий газопровода (не более $+40^{\circ}\text{C}$). Подогрев газа повышает его внутреннюю энергию и, тем самым, мощность турбодетандера. Повышается также КПД турбодетандера. Подогрев газа от 0°C до $+80^{\circ}\text{C}$ повышает мощность турбодетандера на 30 - 35 %.

Существует несколько типов турбодетандеров, которые могут быть использованы для указанной цели, в том числе: ротационные, поршневые, винтовые и турбинные. Последние из упомянутых являются наиболее целесообразными для ГРС, т.к. способны работать с большим количеством газа и большими перепадами его давлений (в соотношениях до 5: 1).

Мощность турбодетандера зависит от количества газа, его температуры и перепада давлений.

Эта мощность может быть использована не только для выработки электричества, но и в других, указанных выше, целях.

Турбодетандеры не являются новой технологией на мировом рынке. Эти механизмы, в пределах мощностей от 1 до 6 МВ, производятся такими всемирно известными международными компаниями как АББ и Атлас Копко. Наилучший из них изготавливается в течение многих лет заводом АББ в Брюсселе и имеет мощность от 1 до 3,5 MW. В настоящее время владельцем этого завода является Атлас Копко.

На приведенном ниже эскизе изображена принципиальная схема турбодетандерной установки указанных выше фирм.

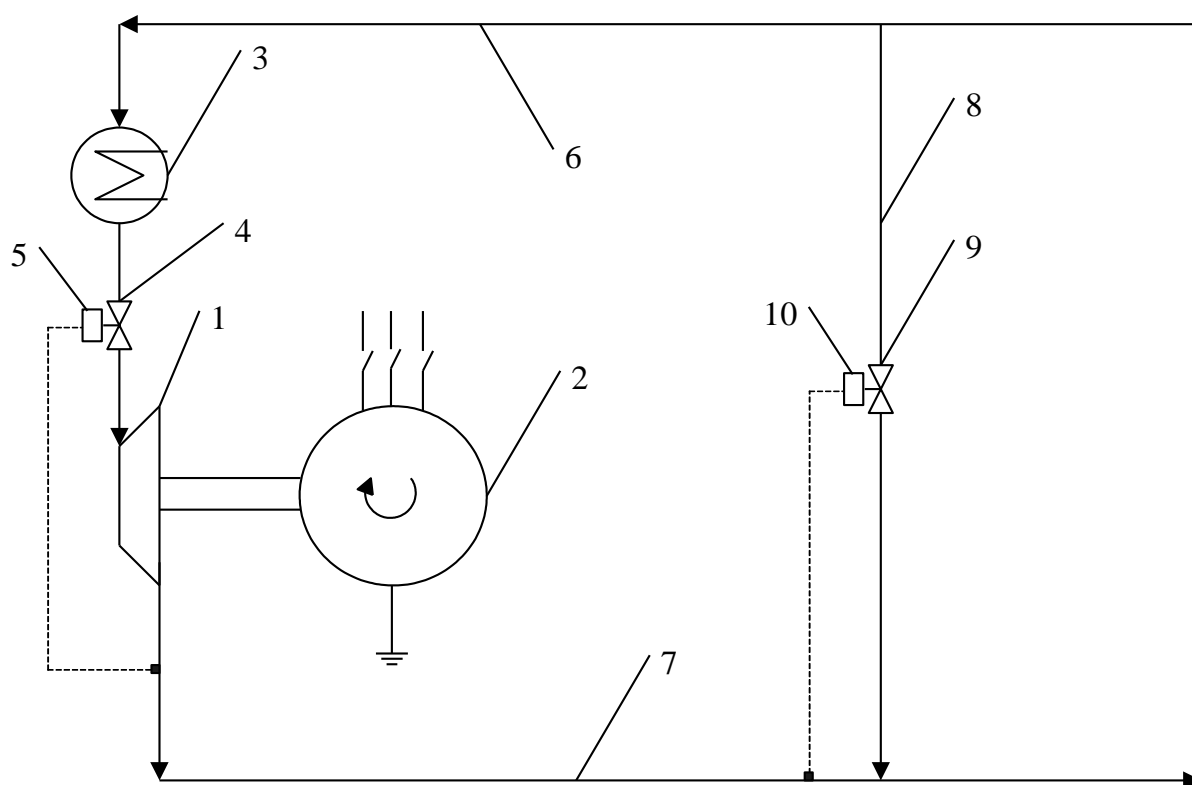


Рис.1

На схеме представлены: турбина 1, кинематически соединенная с электрогенератором 2, подогреватель газа 3, регулирующий клапан 4 турбины 1, управляемый регулятором давления 5, газопровод высокого давления 6, газопровод низкого давления 7, байпасный трубопровод 8 с клапаном 9, управляемым регулятором давления 10.

Природный газ поступает к установке по газопроводу высокого давления 6, проходит подогреватель 3, регулирующий клапан 4 и расширяется в

турбине 1. Отдав свою энергию турбине 1, газ через газопровод низкого давления 6 поступает к потребителю. Мощность турбины 1 передается генератору 2, производящему электрический ток.

Природный газ нагревается в подогревателе 3 для предотвращения выпадения из него влаги и тяжелых фракций (гидратов, пропана, бутана и т.п.). Для этого необходимо, чтобы температура газа за турбиной составляла ок. 5 °С.

Регулирующий клапан 4 турбины 1, управляемый регулятором давления 5, поддерживает необходимое потребителю значение давления газа после турбины 1 в газопроводе низкого давления 7.

Байпасный трубопровод 8 используется в процессе пуска установки, ее нормального и аварийного выводов из действия. В этих случаях байпасный клапан 9, управляемый регулятором давления 10, поддерживает необходимое потребителю значение давления газа в газопроводе низкого давления 7.

Таким образом, турбодетандеры утилизируют собственные энергетические ресурсы газотранспортной системы (полезно не используемый перепад давлений газа) и достаточно просты в эксплуатации.

Однако существуют два больших препятствия для внедрения этой технологии, а именно: пригодность участка (ГРС, ГРП) для возможного размещения турбодетандера и законодательные барьеры.

Выбор ГРС (ГРП) для размещения турбодетандера важен с многих точек зрения, основной из которых является экономика. Кроме того, важными соображениями при выборе участка являются:

- доступность близлежащей электросети или другого рынка для электричества,
- требования к воздушному шуму с точки зрения удаленности от жилья,
- наличие земельного участка для размещения установки,
- величина сезонных изменений расхода и давления газа.

Одним из главных соображений в анализе возможности производства электричества на ГРС является законодательная область. Существует три основных типа компаний, которые могут участвовать в рассматриваемой технологии, причем все они, в большей или меньшей степени, законодательно регулируются. Первым из упомянутых типов является газотранспортная компания, деятельность которой регулируется Федеральным регулирующим органом. Вторым - газораспределительная компания, деятельность которой регулируется Местным (город, область, регион, и т.д.) регулирующим органом. Третьим – энергетическая компания, деятельность которой может регулироваться как Местным, так и Федеральным регулирующими органами. Это регулирование может определять тип бизнеса, которым может заниматься компания. На первый взгляд, энергетическая компания является наиболее логичным покупателем произведенного на ГРС электричества, однако на нее могут влиять множество факторов. Например, если эта компания имеет достаточную мощность для обеспечения потребителей электричеством, маловероятно,

что она будет покупать его у газовой компании. С другой стороны, Федеральный закон заставляет ее покупать электроэнергию от нетрадиционных источников, но реально, на практике, он пока работает плохо.

Таким образом, каждый конкретный случай должен рассматриваться с указанной точки зрения.

Только в одной России существуют многие тысячи ГРС и ГРП, но далеко не все из них подходят для рассматриваемой технологии. По оценкам специалистов на территории РФ существует всего около 600 объектов – ГРС и ГРП, располагающих условиями для строительства и эксплуатации турбодетандерных агрегатов, которые могут выработать до 15 млрд. кВт·ч электроэнергии в год.

Вместе с тем, все ГРС нуждаются в электроснабжении для собственных нужд.

1.3. Автономные источники электроснабжения для ГРС.

Основными потребителями электроэнергии на ГРС являются: электропитание контрольно-измерительных приборов и автоматики (КИПиА), насосы для принудительной циркуляции воды в системе отопления, либо электрообогрев помещений, внутреннее и наружное освещение, а также установки защиты от электрохимической коррозии металла труб газопроводов. Общая потребляемая мощность ГРС обычно не превышает 10...20 кВт при требовании III-ей категории надёжности электроснабжения. Электроснабжение ГРС предусматривается, как правило, от ближайшей ЛЭП через трансформаторную подстанцию с напряжениями 380/220 В. На нижерасположенном графике изображено распределение потребностей ГРС типичного газопровода в электроэнергии по различным ГРС ООО «ГАЗПРОМ ТРАНСГАЗ САНКТ-ПЕТЕРБУРГ».

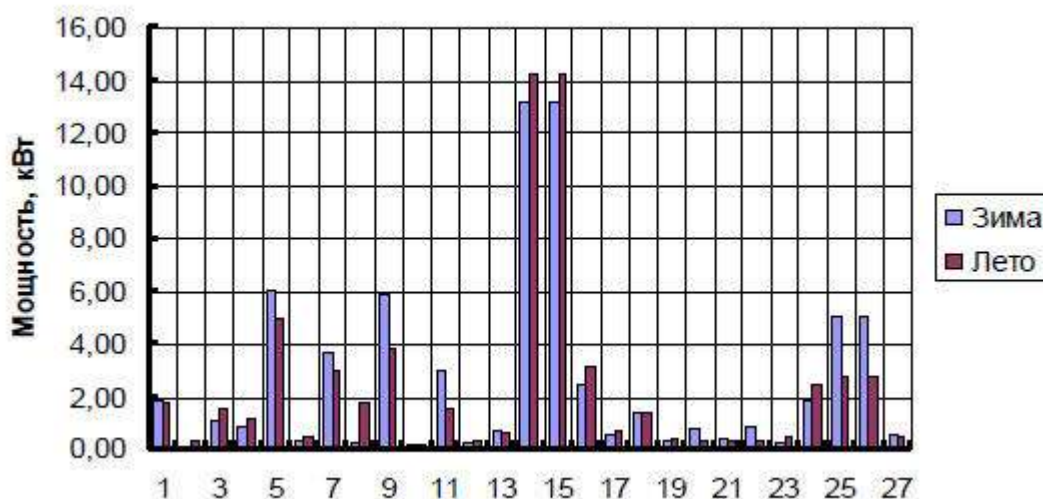


Рис.2

Опыт создания и внедрения компьютеризованных комплексов коммерческого учета расхода газа и систем управления ГРС показывает, что одним из основных условий их успешного применения является наличие автономной

системы энергоснабжения с длительным сроком службы. Причем указанное условие одинаково как для электрифицированных объектов, так и для объектов, которые подключены к электросети. Это обусловлено высокими требованиями измерительных систем и систем управления к качеству электроэнергии, которые невозможно удовлетворить только за счет сетевого питания. Ненадежность линий электропередачи, вызывающая понижение напряжения или даже отключения сети из-за перегрузок и атмосферных явлений, отсутствие маневренного оборудования на электростанциях, а, следовательно, трудность регулировки и поддержания напряжения и частоты электрического тока - негативные явления, характерные для электрической сети России и сетей других стран СНГ. Таким образом, и при наличии сетевого питания, ГРС, оборудованные автономными источниками питания, имеют несомненные преимущества, т.к. эти источники позволяют исключить упомянутые выше негативные явления.

В целом, в газовой отрасли накоплен обширный опыт создания систем автономного электропитания, как с помощью традиционных источников электроэнергии, так и нетрадиционных - утилизирующих собственные энергетические ресурсы отрасли (перепады давлений газа, "бросовое" тепло), или использующих возобновляемые источники энергии - ветер, солнце (см. нижерасположенную схему).



Рис.3

1.4. Преимущества использования турбодетандера в качестве автономного источника электроснабжения ГРС.

Из числа указанных выше автономных источников питания наиболее привлекательными для ГРС представляются турбодетандерные электрогенераторы (турбодетандеры), т.к. они утилизируют собственные энергетические ресурсы газотранспортной системы (полезно не используемый перепад давлений газа) и просты в эксплуатации.

По сравнению с ними остальные, указанные выше, автономные источники электроэнергии, обладают следующими существенными недостатками:

- химические источники тока (аккумуляторы) – имеют ограниченное время действия до подзарядки, малый срок службы и достаточно высокую стоимость;
- газотурбогенераторы и газопоршневые двигатели и т.п. – относительно малая экономичность;
- термоэлектрические электрогенераторы с газовой горелкой – малая мощность (не более 200 ватт);
- ветроэлектрогенераторы и электрогенераторы на солнечной энергии – зависимость от погодных условий;
- термоэлектрические электрогенераторы с вихревой трубой – необходимость наличия высокого давления газа, а также подогрева холодного газа за вихревой трубой.

1.5. Описание зарубежных турбодетандеров для ГРС

1.5.1. Турбодетандер фирмы АВВ

1.5.1.1. Основы

Созданный компанией АББ турбодетандер обеспечивает высокую безопасность эксплуатации, полностью автоматическое, безвахтенное обслуживание и высокую экономичность на полной и частичной нагрузках.

Этот турбодетандер характерен интеграцией турбины и генератора на одном валу в одном, общем кожухе. Он, в основном, состоит из высокоскоростной, центростремительной турбины с двумя колесами и индукционного генератора, установленного на валу между указанными колесами, которые размещены вместе с ним в общем, герметичном, устойчивом к давлению кожухе.

Так как генератор вращается с высокой скоростью, он генерирует электрический ток высокой частоты. Для снижения частоты тока за генератором установлен электронный регулятор, который обеспечивает поддержание напряжения, силы и частоты тока, совместимые с электрической сетью. Таким образом, обычная механическая коробка передач заменена электронным конвертером частоты, который может быть расположен вне классифицируемых зон риска.

1.5.1.2. Колеса турбины и входной направляющий аппарат

Силовыми элементами турбодетандера являются одно или два радиальных колеса турбины, которые могут быть установлены последовательно или параллельно.

Входные направляющие аппараты с поворотными лопастями, установленные перед каждым рабочим колесом турбины, в комбинации с регулятором ее скорости, обеспечивают высокую эффективность при любом расходе и перепаде давлений газа, в том числе на частичных нагрузках.

1.5.1.3. Высокооборотный генератор

Ротор генератора установлен на едином валу с колесами турбины и, следовательно, вращается со скоростью турбины. Генератор охлаждается непрерывным потоком газа с давлением выше атмосферного воздуха. Таким образом, концептуально, взрывчатая смесь газа и воздуха никогда не может образоваться внутри кожуха генератора.

1.5.1.4. Уплотнение вала

Вращающиеся части турбины и генератора расположены в общем, герметичном, устойчивом к давлению кожухе. Их вал не выходит за пределы этого кожуха. Таким образом, никакой системы уплотнения не требуется для предотвращения утечек газа в атмосферу. Электрические части генератора, как стационарные, так и вращающиеся, никогда не входят в контакт с опасными газовыми смесями. Все эти части размещены в общем с турбиной кожухе, в окружении чистого природного газа, что полностью исключает риск взрыва.

1.5.1.5. Подшипники

Вал турбодетандера снабжен радиальными и осевыми подшипниками, которые выполнены в виде высокоточных роликов и шаров.

1.5.1.6. Масляная система смазки

На нормальных эксплуатационных режимах, масляная система смазки подает во все необходимые места отфильтрованное масло с температурой ок.45⁰С. Потери тепла масляной системы используются, вместе с потерями тепла электронного конвертера частоты, для подогрева газа в подогревателе первой ступени, который установлен до основного подогревателя по ходу газа.

1.5.1.7. Электронный конвертер частоты

Электронный конвертер частоты является обязательным компонентом данного турбодетандера (т.к. он не имеет механической коробки передач), без которого было бы невозможно передать ток высокой частоты (200-300 Гц) от генератора к электрической сети.

1.5.1.8. Система управления

Программируемые цифровые модули позволяют осуществлять: автоматический пуск, регулирование, защиту, контроль и дистанционное управление турбодетандером.

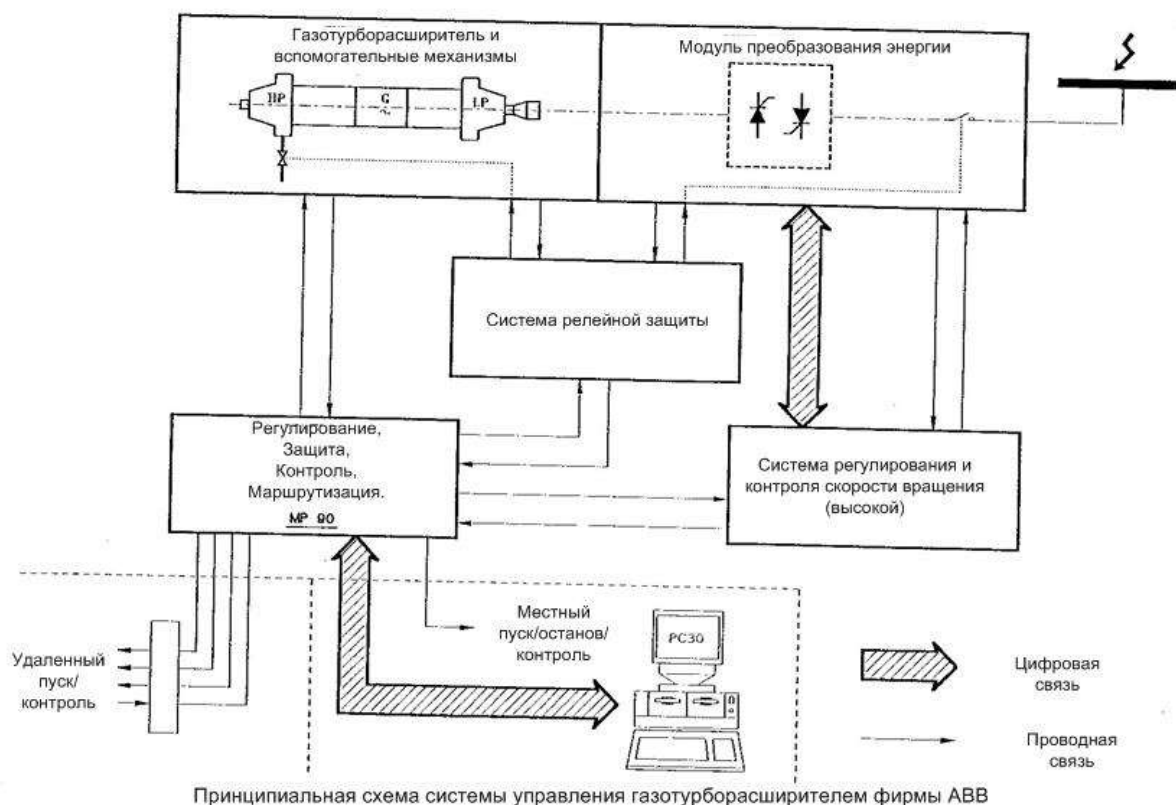


Рис.4

Компания АББ не поставляет основной подогреватель газа, который должен быть установлен перед турбиной. Обычно, он входит в поставку инжиниринговой компании, которая ведет весь проект.



Рис.5

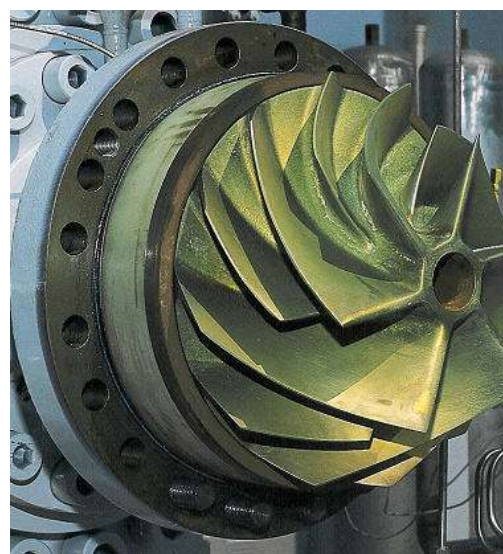


Рис.6

Несколько десятков турбодетандеров данного проекта успешно работают в течение многих лет в таких странах Европы как: Бельгия,

Нидерланды, Германия, Великобритания, Чешская Республика, Словацкая Республика и Венгрия.

1.5.2. Турбодетандер фирмы Ротофлоу

Корпорация Ротофлоу (Лос-Анджелес, Калифорния, США) создала турбодетандер для ГРС (в 1963 г.), который, кроме США, также изготавливается и продается в Европе компанией Атлас Копко, а в США – компанией «Дженерал Электрик». Этот турбодетандер имеет не такую современную, по сравнению с турбодетандером компании АББ, конструкцию с механической коробкой передач (редуктором). Однако разумная цена делает его привлекательным для ряда покупателей.

Так, например, он входит в «Перечень импортной продукции, рекомендуемой ОАО «Газпром» для освоения отечественным производителям в 2007-2010гг», с ориентировочным объемом потребности в год 8-16 штук.



Рис.7



Рис.8

В конструкции могут быть использованы несколько типов редукторов – внутренние и наружные, одно- и многоступенчатые. Кроме того, существует вариант конструкции без редуктора, в которой турбина вращается с частотой, требуемой электросети. Габариты такого турбодетандера и его масса достаточно велики, по сравнению с редукторной схемой.

Мощность работающих турбодетандеров находится в диапазоне от 50 до 15000 кВт.

1.5.3. Турбодетандер фирмы Атлас Копко

Фирма «Атлас Копко» изготавливает турбодетандеры для генерации энергии из перепада давлений на ГРС и ГРП начиная с 1975 года. Всего фирмой изготовлено более чем 5000 работающих в различных областях промышленности турбодетандеров.

Фирма «Корпорация Ротофлоу», лидер в турбодетандерной технологии, сейчас являются частью «Атлас Копко».

Особенности проекта:

- Надежные, регулируемые входные сопла управляются автоматически или вручную;
- Для достижения максимальной эффективности, рабочие колеса согласованы по эксплуатационным характеристикам с прикладной задачей;
- Обеспечен многочисленный выбор уплотнений вала с целью обеспечения оптимального уплотнения практически для любой прикладной задачи;
- Комбинация радиальных и осевых, упорных подшипников помогает осуществить центровку и обеспечить тем самым надежную эксплуатацию. Они могут быть выполнены в виде: втулочных радиальных и винтовых, осевых, упорных подшипников скольжения; с титрованной колодкой радиальных и конических осевых, упорных подшипников скольжения или с титрованной колодкой радиальных и с титрованной колодкой конических осевых, упорных подшипников скольжения;
- Динамические свойства ротора заранее определены точным математическим моделированием и анализом. Это позволяет оптимизировать подшипники и компоновку уплотнения с целью минимизации вибрации, возникающей вследствие дисбаланса и избежать подсинхронных вибраций;
- Автоматическая компенсация упорных сил снижает потери энергии и уменьшает осевые, упорные перемещения, вызванные эксплуатацией на нерасчетных режимах турбоэкспандера, работающего в режиме компрессора. Предусмотрены, на выбор, гидравлическая и пневматическая системы компенсации;
- Датчики контроля вибрации и скорости вращения ротора;
- Предусмотрены на выбор, соответствующий прикладной задаче, корпуса литые или изготовленные из отдельных частей.

Внешний вид этого турбодетандера представлен ниже.



Рис.9

1.5.4. Турбодетандер фирмы RMG

Турбодетандер компании RMG (Германия):

- Не содержит масла, нет загрязнения газа;
- Технология магнитных подшипников обеспечивает длительный срок службы (20 лет);
- Нулевой выброс вредных веществ от турбогенератора;
- Износостойкий, не требует интервалов для технического обслуживания с использованием большого количества материалов;
- Низковибрационный и малошумный, не требует звукоизоляции;
- Удобен в обслуживании, подсоединен к системе телемеханики, дистанционная диагностика;
- Система управления процессом для регулирования всех параметров эксплуатации;
- Ротор генератора с постоянными магнитами и специальными бандажами для макс. окружной скорости до 270 м/с;
- Цифровая регулировка магнитных подшипников;
- Встроенное в турбину устройство для регулировки сопловых лопаток;
- Непосредственная связь турбины с генератором.

Турбинное колесо:

Турбинное колесо проектируется непосредственно под давление газа и расход, имеющиеся в конкретной установке.

Система магнитных подшипников:

Благодаря ей обеспечивается абсолютно износостойкое вращение ротора с незначительными потерями. Все колебания нагрузки и силы в роторе, обусловленные режимом эксплуатации, полностью выравниваются магнитным полем при помощи цифровых регулирующих устройств. Имеется аварийная система подшипников (предохранительные подшипники - шариковые).

Генератор:

Генератор проектируется как двухполюсная синхронная машина. Ротор явнополюсный, с постоянными магнитами, охлаждается газом. Статор покрыт слоем из электротехнической листовой стали с малыми потерями.

Корпус:

Газонепроницаем и не имеет утечек, поскольку нет выступающих валов. Охлаждается водой или газом.

Частотный преобразователь и подвод питания:

Выпрямление высокочастотного переменного тока в промежуточном контуре. Преобразование для питания сети (400 В / 50 Гц) в соответствии с требованиями для предприятий электроснабжения.

Опция:

Синусоидальные фильтры, сглаживающие дроссели и фильтры радиопомех предотвращают „загрязнение сети“. В аварийных ситуациях тормозной прерыватель с внешним сопротивлением высокой нагрузки забирает остаточную энергию у системы. Важные с точки зрения безопасности функции являются составной частью измерительно-контрольного защитного

устройства. Тепловые потери силовой электроники отводятся в тепловой цикл технологического процесса.

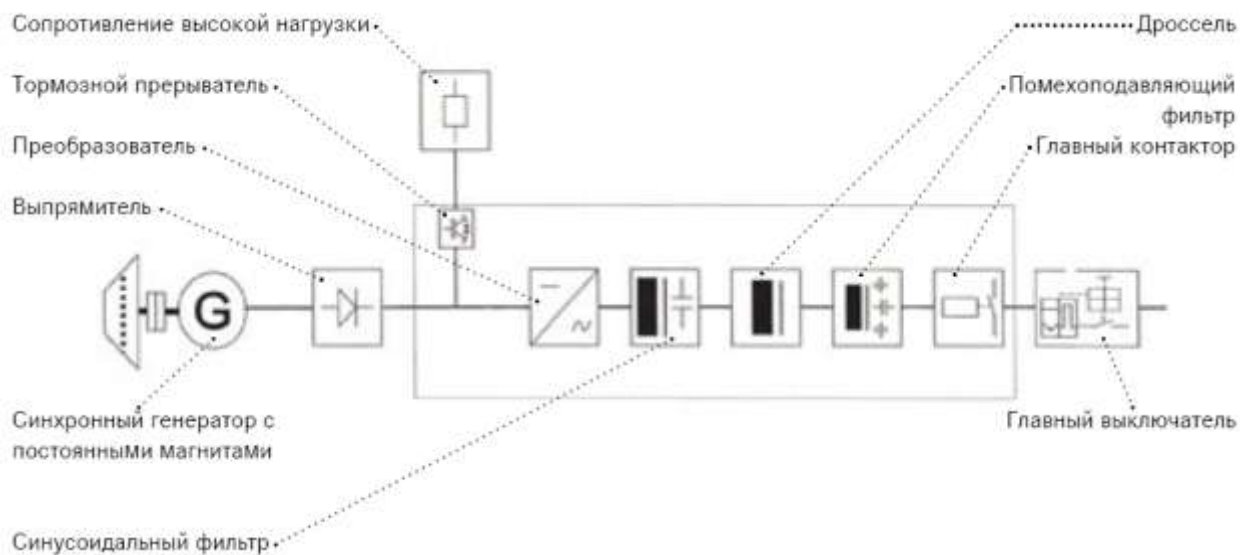


Рис.10

В нижеследующей таблице описаны три типоразмера турбодетандеров:

Таблица 1

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ			
Турбина	MTG 160	MTG 450	MTG 550
Тип	радиальная с регулированием сопловой лопатки	радиальная с регулированием сопловой лопатки	радиальная с регулированием сопловой лопатки
Входное давление	макс. 40 бар	макс. 70 бар	макс. 70 бар
Макс. расход газа	10 000 Нм ³ /ч	25 000 Нм ³ /ч	30 000 Нм ³ /ч
Мин. расход газа	3 000 Нм ³ /ч	4 500 Нм ³ /ч	5 000 Нм ³ /ч
Соотношение давлений $p_{вх}/p_{вых}$ при последоват. расширении	2,5 - 4,5 6,25 - 20,25	2,5 - 4,5 6,25 - 20,25	2,5 - 4,5 6,25 - 20,25
Генератор			
Тип	синхронный возбуждаемый постоянными магнитами	синхронный возбуждаемый постоянными магнитами	синхронный возбуждаемый постоянными магнитами
Подшипниковая опора	цифровые магнитные	цифровые магнитные	цифровые магнитные
Способ охлаждения	водяное охлаждение технологическим газом	водяное охлаждение технологическим газом	водяное охлаждение технологическим газом
Номинальная мощность	160 кВт	450 кВт	550 кВт
Номинальная частота вращения	45 000 об/мин	32 000 об/мин	32 000 об/мин
КПД	~ 96 %	~ 96 %	~ 96 %
Степень давления	Pu 40	Pu 70	Pu 70
Размеры	L = 1 093 мм, B = 955 мм, H = 735 мм	L = 1 800 мм, B = 800 мм, H = 1 500 мм	L = 1 800 мм, B = 800 мм, H = 1 500 мм
Вес MTG	ca. 800 kg	ca. 2 650 kg	ca. 2 750 kg
Управление и преобразователь частоты переменного тока			
Силовая электроника	ВИМ инвертор по технологии IGBT	ВИМ инвертор по технологии IGBT	ВИМ инвертор по технологии IGBT
Номинальное напряжение	400 В	400 В	400 В
Номинальная мощность	160 кВт	450 кВт	550 кВт
Частота	50 Гц	50 Гц	50 Гц
Коэффициент мощности	1	1	1
КПД	98 %	98 %	98 %
Способ охлаждения	водяное и воздушное охлаждение	водяное и воздушное охлаждение	водяное и воздушное охлаждение
Степень защиты	IP 44 (шкаф), IP 20 (тормозное сопротивление)	IP 44 (шкаф), IP 20 (тормозное сопротивление)	IP 44 (шкаф), IP 20 (тормозное сопротивление)
Размеры	B = 2 400 мм, H = 2 400 мм (+400 мм), T = 600 мм	B = 3 600 мм, H = 2 400 мм (+400 мм), T = 600 мм	B = 3 600 мм, H = 2 400 мм (+400 мм), T = 600 мм

Внешний вид турбодетандера представлен на нижеследующих рисунках.

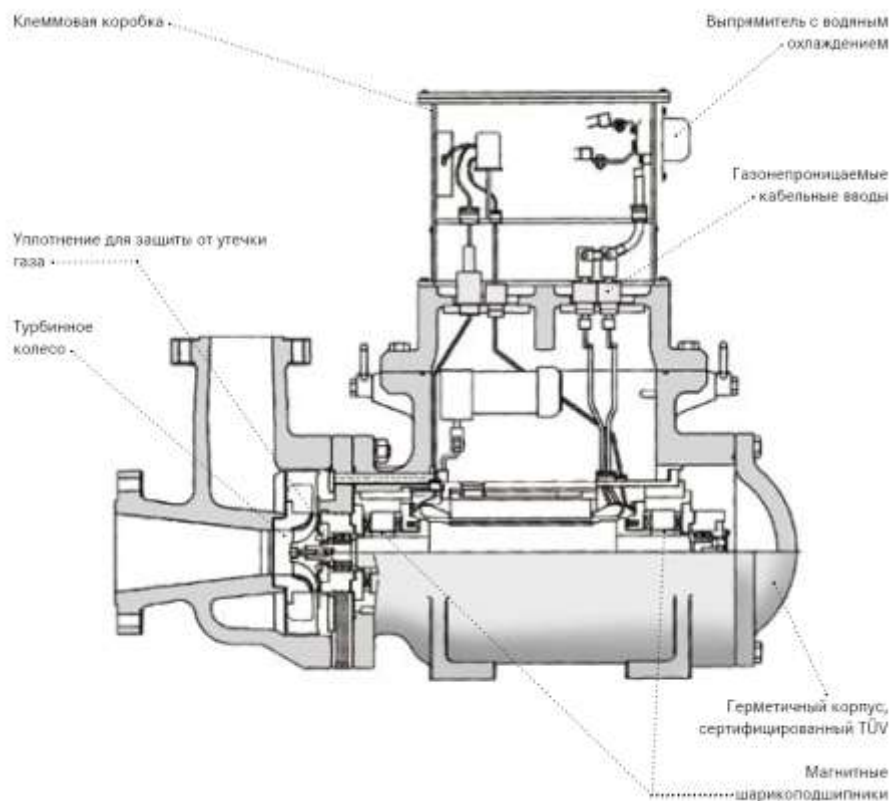


Рис.11



Рис.12

Основные характеристики упомянутых выше зарубежных турбодетандеров приведены в таблице 1 приложения 1 настоящего документа.

1.6. Описание турбодетандеров для ГРС производства СССР и РФ

1.6.1. Турбодетандер ОАО «Турбогаз»

В СССР в период с 1981 по 1984 годы были проведены обширные исследования по выбору оптимальных схем утилизационных турбодетандерных установок на газораспределительных станциях (ГРС), газораспределительных пунктах (ГРП) и компрессорных станциях (КС), в которых энергия избыточного давления газа преобразуется в электрическую энергию. В результате в 1986 году впервые в СССР была изготовлена утилизационная энергетическая установка УТДУ-2500 мощностью 2500 кВт для ГРС. Промышленный образец установки эксплуатируется на ГРС № 7 г. Днепропетровска с 1991 года и до настоящего времени. Эти работы проводило Всесоюзное научно-производственное объединение (ВНПО) «Союзтурбогаз», которое было основано в 1975 году по решению Министерства газовой промышленности СССР, как головное предприятие по созданию и внедрению в отрасли передового энерготехнологического оборудования. До 1991г. предприятие входило в состав «Газпрома», в настоящее время ВНПО «Союзтурбогаз», переименовано в ОАО «Турбогаз» и принадлежит Украине (г. Харьков).



Рис.13

За период с 1991 по 2008г. ОАО «Турбогаз» внедрило турбодетандерные установки на следующих объектах:

Наименование объекта	Страна	Количество	Установленная мощность, кВт
УМГ «Харьковтрансгаз» ДК «Укртрансгаз», ГРС-7 Днепропетровского ЛП УМГ	Украина	1	2500
Минская ТЭЦ-4	Беларусь	2	2500
ГРП-2, г. Новолукомль	Беларусь	1	2500
ГС «Солоха», ГПУ «Полтавагаздобыча»	Украина	1	2500
ГРС, г. Одесса	Украина	1	4000
ГРС, г. Запорожье	Украина	1	4000
ГРС, г. Северодонецк	Украина	1	4000
РУП "Гомельэнерго", Гомельская	Беларусь	1	4000

ТЭЦ-2

1.6.2. Турбодетандер ООО «Криокор»

Много Российских компаний пробовали создать турбодетандер. Так, например, один из них, разработанный ООО «Криокор», аналогичен проекту корпорации Ротофлоу и находится в эксплуатации с 1994 г. на ТЭЦ № 21 г. Москвы, но имеет ряд проблем, обычных для экспериментальных установок.



Рис.14

Основные технические характеристики указанного агрегата приведены в нижеследующей таблице.

Таблица 2

Наименование параметра	Расчетная величина
1. Мощность на клеммах генератора, МВт	5,1
2. Максимальный часовой расход газа, тыс. нм ³ /час	175
3. Давление газа перед детандером, ати	12
4. Давление газа за детандером, ати	2,5
5. Степень расширения газа в турбине, -	3,7
6. Температура газа перед турбиной, °С	110
7. Температура пара на входе в газоподогреватель, °С	250
8. Температура газа за турбиной, не менее, °С	5
9. Тип передачи мощности от турбины	Понижающий

к электрогенератору	редуктор
10. Масса, т	70
11. Габариты турбоэкспандера: - длина, м	8,6
- ширина, м	1
- высота, м	3,1
12. Охлаждение генератора и масла системы смазки	водяное
13. Размещение турбоэкспандера и его систем	Кирпичное здание
14. Размещение газоподогревателя	Вне здания
15. Тип газоподогревателя	трубчатый теплообменник
16. Наличие промежуточного теплоносителя для подогрева газа	нет
17. Срок окупаемости (в ценах 1995 г., без учета инфляции и дисконтирования), лет	5

К числу недостатков турбодетандера ООО «Криокор», по сравнению с зарубежными аналогами, следует отнести следующее:

- Регулирование давления газа за турбиной осуществляется штатными клапанами ГРП, в то время как регулятор турбины поддерживает частоту ее вращения. Это, с одной стороны, может привести к неустойчивой работе системы подачи газа на ТЭЦ, а с другой – требует существенного расхода газа через клапаны ГРП (запас на регулирование) и, следовательно, недобора мощности турбиной;
- Использование водяного охлаждения электрогенератора и масла системы смазки, вместо воздушного или газового, заметно усложнило установку;
- Экономичность работы турбины ниже, в особенности на частичных нагрузках;
- Относительные массогабаритные показатели хуже.

Его относительно меньшая (на 20-25%) стоимость, не компенсирует отмеченные выше недостатки.

Аналогичными недостатками обладает и указанный выше турбодетандер ОАО «Турбогаз».

1.6.3. Турбодетандер НТЦ «Микротурбинные Технологии»

Турбодетандер МДГ-20 научно-технического центра «Микротурбинные Технологии» (НТЦ «МТТ») - это компактный агрегат, выполненный в виде единого блока, в котором скомпонованы высокооборотный электрогенератор с газодинамическими подшипниками и осевая малорасходная турбина.

Он обладает следующими техническими характеристиками:

- Электрическая мощность (максимальная) - 20 кВт;
- Начальное давление - $15 \cdot 10^5$ Па;
- Начальная температура – 320°K ;
- Конечное давление - $6 \cdot 10^5$ Па;
- Расход газа- 0.320 кг/с;
- Электрический КПД установки - не менее 0,7;
- Диапазон изменения мощности - 0...20 кВт;
- Частота вращения ротора турбины - 0...40 000 об./мин;
- Ресурс – не менее 100 000 часов;
- Кинематическая схема турбины – одноступенчатая, осевая со средним диаметром рабочего колеса $D_{\text{ср}} = 0,126$ м.

На нижерасположенном рисунке изображена конструктивная схема данного турбодетандера.

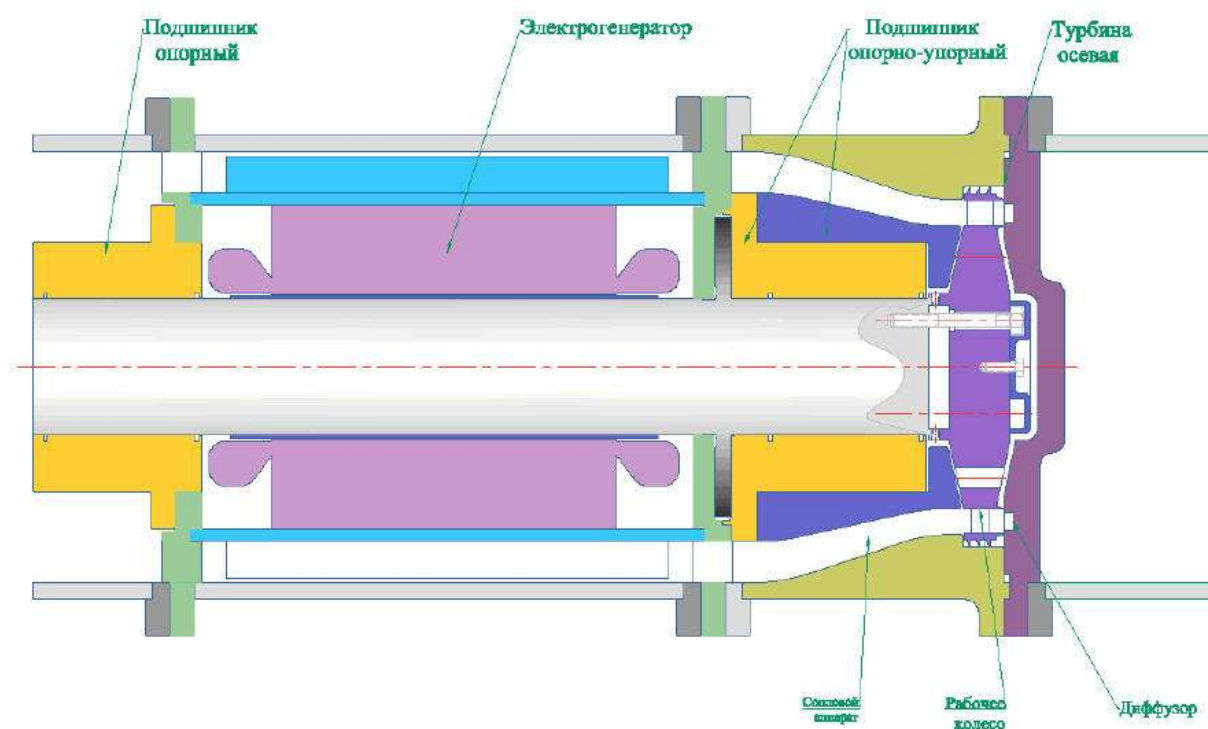


Рис.15

Тепловая схема установки с турбодетандером МДГ-20

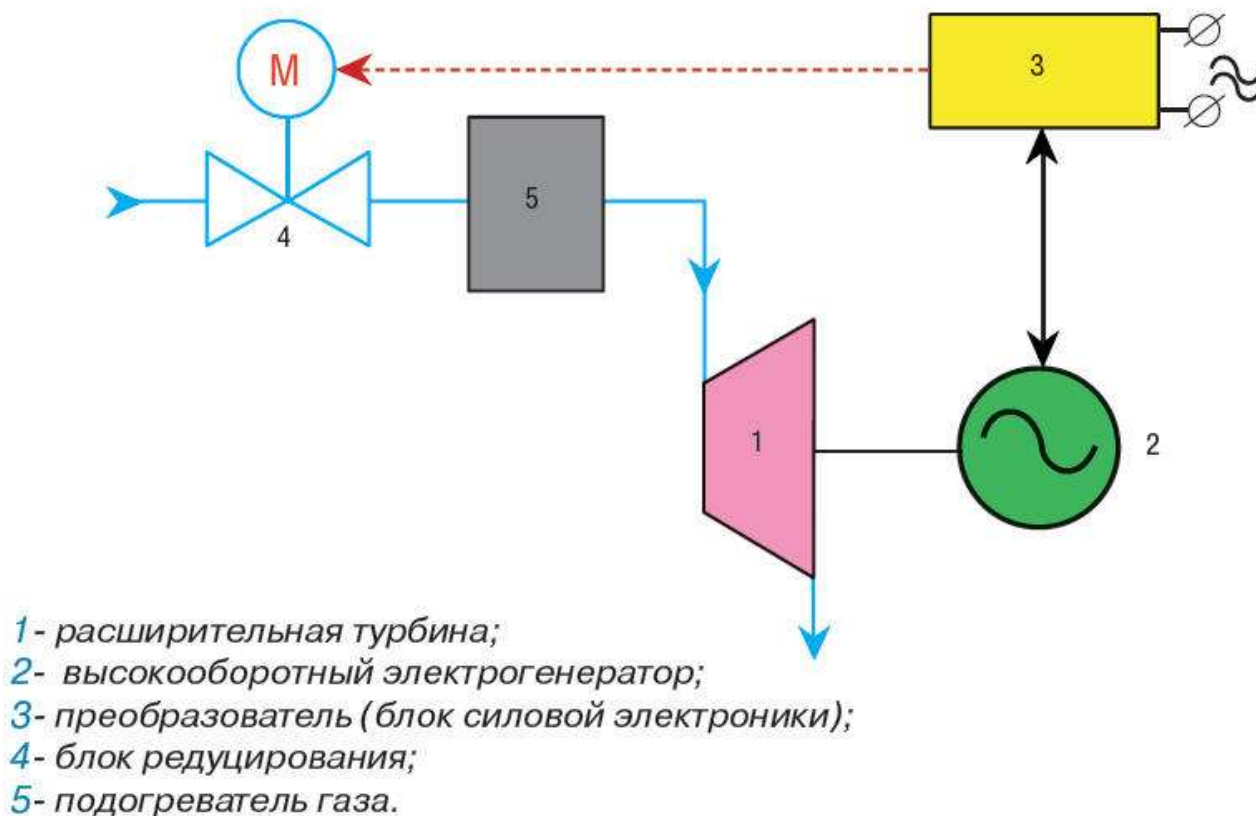


Рис.16

В тепловой схеме установки для получения полезной мощности на валу турбины 1 используется перепад давления газа между трубопроводами высокого и низкого давлений ГРС (на схеме не показаны). Перед подачей в турбину 1 давление газа понижается в блоке редуцирования 4 до 15 бар. Далее газ проходит через подогреватель 5, входное устройство турбины, ее рабочее колесо, выходное устройство, и поступает в магистральный газопровод низкого давления (6 бар). Механическая мощность газовой турбины используется для получения электрической мощности с помощью синхронного электрогенератора 2. Электрический преобразователь 3 (блок силовой электроники) позволяет получить на выходе агрегата необходимое напряжение переменного тока с частотой 50 Гц.

Санкт-Петербургским Государственным Политехническим Университетом (СПбГПУ) для турбодетандера МДГ-20 был разработан новый класс конструкции осевой турбинной ступени (малорасходная, малогабаритная, высокоэкономичная) – см. нижеследующее фото.



Рис.17

Ее отличительные технические особенности:

- малые углы выхода из соплового аппарата (СА), $\alpha_1 = 3...9^\circ$;
- большие углы поворота потока в рабочем колесе (РК), $\theta_2 = 160...170^\circ$;
- малые углы входа в РК, $\beta_1 = 6...14^\circ$;
- малое, по сравнению с традиционными, число сопловых и рабочих лопаток ($z_{СЛ} \geq 2$) и ($z_{РК} \geq 6...8$);
- большой относительный шаг сопловых ($t/b \geq 1.0$) и рабочих ($t/b \geq 1.2$) лопаток.

Основные характеристики упомянутых выше турбодетандеров СНГ приведены в таблице 1 приложения 1 настоящего документа.

1.7. Заключение раздела

Из числа рассмотренных турбодетандеров производства зарубежных фирм и стран СНГ только один агрегат полностью соответствует рассматриваемой задаче – турбодетандер МДГ-20 НТЦ «МТТ» (РФ), т.к. он изначально был спроектирован и оптимизирован под нее, т.е. служить в качестве автономного источника электроснабжения ГРС. Именно поэтому для этого турбодетандера был разработан новый класс конструкции осевой турбинной ступени и использованы другие новые технические решения. Все остальные турбодетандеры были спроектированы и оптимизированы совсем под другую задачу – утилизация максимально возможного количества энергии на ГРС.

2. Обзор патентной документации

2.1. Введение

В процессе разработки турбодетандера МДГ-20 научно-техническим центром «Микротурбинные Технологии» выполнены патентные исследования, целью

которых было определение патентной чистоты производства данного турбодетандера в РФ. В соответствии с указанной выше целью, поиск осуществлялся по международным патентным заявкам ведущих производителей турбодетандеров, которыми являются США и Евросоюз, а также по патентам и заявкам РФ – место расположения НТЦ «Микротурбинные Технологии», глубина поиска патентов – 20 лет.

Далее по тексту указаны патентные документы и выписки из них, касающиеся принципиальных схем ГРС с турбодетандерами и конструкций этих агрегатов.

2.2. Документы, защищающие принципиальные схемы ГРС с турбодетандерами

Кроме принципиальной схемы использования турбодетандеров на ГРС, изображенной выше (на стр.5 и 21), существует и целый ряд других, некоторые из которых защищены действующими патентами.

2.2.1. Действующий патент (№ 2009389) ООО «Криокор»:

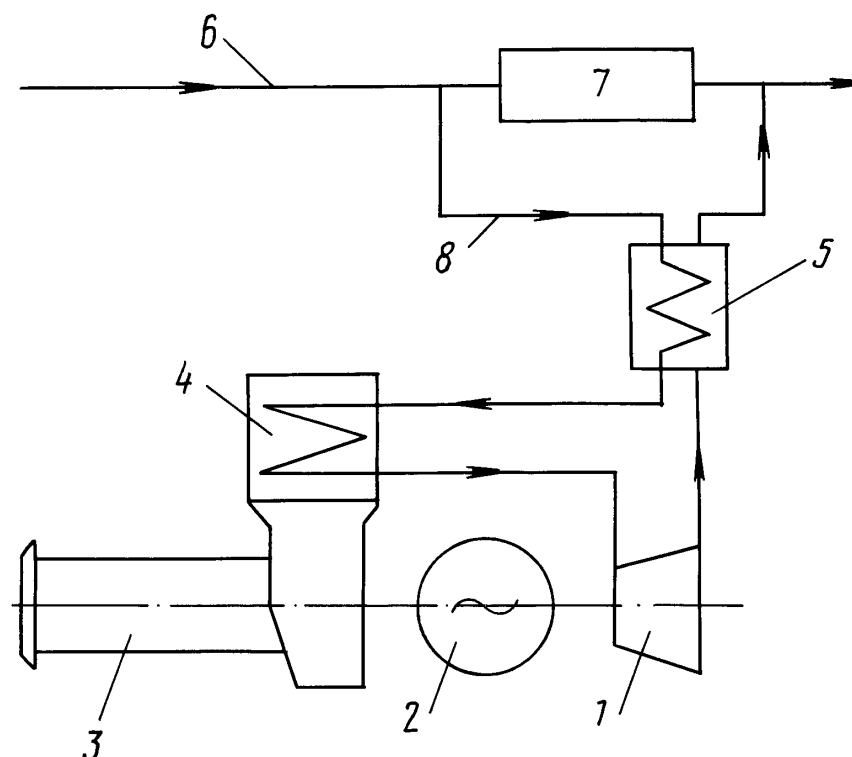


Рис.18

Газораспределительная станция содержит турбодетандер 1, электрогенератор 2, газотурбинный двигатель 3, теплообменник-утилизатор 4 и теплообменник-регенератор 5, а также магистральный трубопровод газа 6 с редуцирующим устройством 7 и трубопровод 8 отбора газа.

Устройство работает следующим образом.

Природный газ забирается из магистрального трубопровода 6 перед редуцирующим устройством 7 и по трубопроводу 8 поступает в теплообменник-регенератор 5, где подогревается обратным потоком газа из турбодетандера 1. Из регенеративного теплообменника-регенератора 5 газ

сначала поступает в теплообменник-утилизатор 4, где прогревается отработавшими газами газотурбинного двигателя 3, а затем - в турбодетандер 1. В турбодетандере 1 газ расширяется с производством работы, передаваемой электрогенератору 2, к последнему кинематически подключен и газотурбинный двигатель 3 для передачи первому своей вырабатываемой мощности.

2.2.2. Действующий патент (№ 2221192) ЗАО «Научно-исследовательский и конструкторский институт центробежных и роторных компрессоров им. В.Б. Шнеппа»:

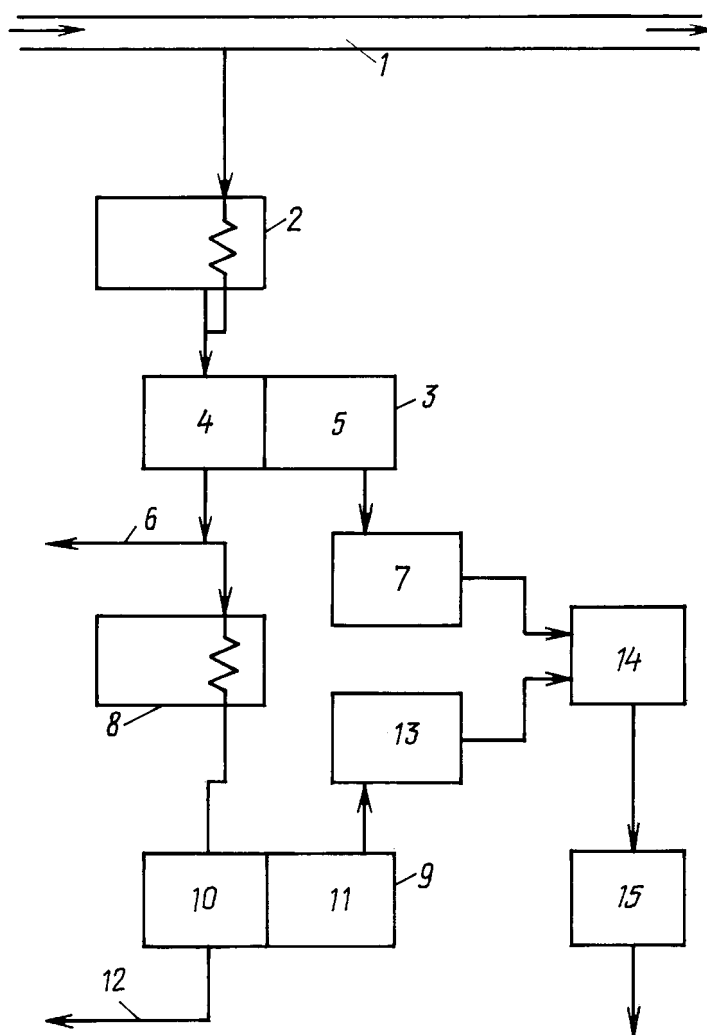


Рис.19

Газораспределительная станция содержит магистральный газопровод 1 высокого давления, нагреватель газа 2, электромашинный турбодетандер 3 с турбиной 4 и электрогенератором 5, потребительский газопровод 6 промежуточного давления 12 кг/см², выпрямитель 7, нагреватель газа 8, электромашинный турбодетандер 9 с турбиной 10 и электрогенератором 11, потребительский газопровод 12 низкого давления 2 кг/см², выпрямитель 13, аккумуляторная станция 14 и инвертор напряжения 15.

ГРС включена между магистральным газопроводом 1 высокого давления и потребительским газопроводом 12 низкого давления. Электромашинные турбодетандеры 3 и 9 установлены каскадно. Электрогенератор 5 установлен на валу турбины 4, а электрогенератор 11 - на валу турбины 10. Нагреватель газа 2 размещен на входе турбины 4 и нагреватель газа 8 - на входе турбин 10. Выход турбины 4 соединен с потребительским газопроводом 6 промежуточного давления. Электрогенераторы 5 и 11 выполнены с регуляторами напряжения и через выпрямители 7 и 13 подключены к аккумуляторной станции 14. С аккумуляторной станцией 14 соединен инвертор напряжения 15.

Вместо турбодетандера 3 и/или 9 могут быть установлены группы турбодетандеров.

Совмещенный ротор каждого из электромашинных турбодетандеров 3 и 9 установлен в корпусе с помощью системы магнитного подвеса. Входные нагреватели 2 и 8 турбодетандеров 3 и 9 выполнены электрическими или с подогревом от тепла сжигаемого газа. Выпрямители 7 и 13 выполнены с возможностью выпрямления переменного напряжения с изменяющейся частотой. Инвертор напряжения 15 выполнен с выходным напряжением промышленной частоты и подключен к сети для обеспечения собственных нужд ГРС и питания близлежащих потребителей электроэнергии.

Конструктивно каждый из электромашинных турбодетандеров 3 и 9 содержит: внешний корпус в виде трубы с фланцами, к которым присоединяются отводы входного и выходного трубопроводов и неподвижная часть турбин, внутренний корпус, в котором установлены неподвижные части (статоры) электромагнитных подшипников, электрогенератора и конструктивные элементы охлаждения. На совмещенном роторе турбодетандера, удерживаемого с помощью системы активного магнитного подвеса в центральном положении, установлены вращающиеся части турбины, роторные части электрогенератора, опорных и упорного электромагнитных подшипников (на чертеже не показано). В процессе работы ГРС природный (или другой) газ из магистрального газопровода 1 поступает с повышенным давлением в нагреватель 2, где осуществляется его предварительный подогрев. Далее подогретый газ направляется в турбину 4 турбодетандера 3 первой ступени редуцирования давления и приводит во вращение ротор, обеспечивая требуемое давление газа (например, 12 кг/см^2) в потребительском газопровode 12. Электрогенератор 5 создает регулируемое преобразование энергии ротора в электрическую энергию переменного тока, напряжение и частота которого могут изменяться в зависимости от режима работы турбодетандера 3. Система магнитного подвеса обеспечивает бесконтактный подвес ротора и, тем самым, исключает потери на трение и износ вращающихся узлов турбодетандера 3.

Аналогичным образом работает и вторая ступень редуцирования давления газа с нагревателем 8 и турбодетандером 9, направляя в потребительский газопровод 12 газ (например, с давлением 2 кг/см^2).

Максимальная рабочая частота вращения ротора каждого из турбодетандеров 3 и 9 определяется, в основном, требованиями по механической прочности вращающихся элементов, т.е. турбодетандеры 3 и 9 могут быть высокооборотными (например, 10000. . . 30000 об/мин). Увеличенная рабочая частота позволяет значительно повысить удельную мощность электрогенераторов 5 и 11 и уменьшить габариты (в том числе - размеры и массу ротора) по сравнению с промышленными генераторами, рассчитанными на частоту вращения 3000 об/мин.

Для регулирования режимов работы турбодетандеров 3 и 9, а также для преобразования и стабилизации параметров электрической энергии до значений, соответствующих требованиям потребителей, в каждом из турбодетандеров 3 и 9 предусмотрен регулятор напряжения, изменяющий при необходимости напряжение возбуждителя. Для этой же цели служит система вторичного преобразования электроэнергии.

Выпрямители 7 к 13 осуществляют преобразование напряжения изменяющейся частоты в постоянное напряжение. Аккумуляторная станция 14 обеспечивает буферные режимы при изменении нагрузки потребителей электрической энергии и при изменении режимов работы турбодетандеров 3 и 9. Инвертор напряжения 15 осуществляет преобразование напряжения постоянного тока в напряжение переменного тока промышленной частоты.

2.2.3. Действующий патент (№ 2351842) ООО «Завод Газпромаш»:

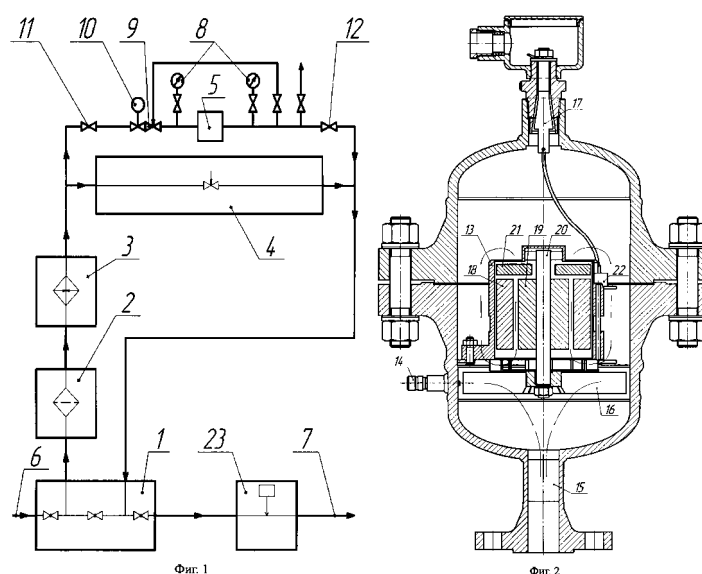


Рис.20

На фиг.1 изображена газораспределительная станция, а на фиг.2 – собственно турбодетандер, позициями 1-23 обозначены:

1 - блок переключений; 2 - блок очистки; 3 - подогреватель газа; 4 - блок редуцирования; 5 - турбодетандер; 6 - магистраль природного газа высокого давления; 7 - магистраль природного газа низкого давления; 8 - манометры; 9 - регулятор давления; 10 - отсекающий газ; 11 - входной запорный элемент; 12 - выходной запорный элемент; 13 - генератор; 14 - патрубки подвода газа;

15 - патрубок отвода газа; 16 - турбина; 17 - вывод на внешнюю сеть; 18 - статор; 19 - ротор; 20 - вал ротора; 21 - силовой выпрямитель; 22 - регулятор напряжения; 23 - блок одоризации.

Газ высокого давления поступает на вход блока переключений 1 ГРС. После прохождения блока переключений 1 газ подается на блок очистки 2 газа. Здесь в фильтрах очистки газ очищается от механических примесей и капельной влаги. Не прошедшие через сетку механические примеси и капельная влага скапливаются в накопителе конденсата. При достижении жидкостью верхнего уровня открывается кран с пневмоприводом и жидкость сбрасывается в емкость сбора конденсата. Сброс жидкости происходит до достижения нижнего уровня, после чего подается команда на закрытие крана. Если при достижении жидкостью нижнего уровня кран не закрылся, в работу вступает клапан-отсекатель, который закрывается при прекращении течения через него жидкости и начале течения потока газа. По показаниям датчика перепада оценивается степень загрязнения фильтров очистки. Опорожнение емкости для сбора конденсата осуществляется методом передавливания. Для этого в емкость предусмотрена подача природного газа от узла редуцирования 4 газа на передавливание.

После очистки газ подается на узел подключения подогревателя. При общей загрузке ГРС до 10000 м³/ч (при достижении падения давления на подогревателе 0,1 МПа) открывается кран на линии частичного перепуска газа. При уменьшении расхода (при величине падения давления менее 0,04 МПа) кран на линии частичного перепуска газа закрывается.

Подогрев газа осуществляется подогревателем 3 при контроле блока управления подогревателя из расчета обеспечения температуры газа на выходе ГРС не ниже плюс 5°С. После подогрева газ подается на узлы замера расхода газа. Замер расхода газа осуществляется устройствами сужающими быстросменными. После замера расхода газ поступает в блок редуцирования 4. При достижении давления на выходе регулятора давления верхнего или нижнего пределов срабатывания предохранительные запорные клапаны автоматически блокируют газовый поток.

Регулятор резервной линии в период нормальной работы станции находится в полностью закрытом состоянии. В случае выхода из строя регулятора и автоматической блокировки газового потока станция переходит на работу регулятора резервной линии. Выходное давление при этом поддерживается на несколько более низком уровне резервной линией. Контроль за входным и выходным давлениями в блоке редуцирования 4 осуществляется электроконтактными манометрами, а контроль за давлением в каждой линии - манометрами, которые используются для настройки регуляторов газа.

Из блока редуцирования 4 газ подводится к патрубку подвода 14 газа на корпусе детандер-генераторного агрегата (ДГА). В корпусе ДГА газ поступает через сопловый аппарат, где потенциальная энергия давления газа переходит в кинетическую энергию движения газа. Далее газ поступает на лопатки рабочего колеса турбины 16. Турбина 16 своим вращением

раскручивает ротор 19 генератора. При взаимодействии электромагнитных полей ротора 19 и статора 18 механическая энергия преобразуется в электрическую. Получаемый при этом переменный ток преобразуется силовым выпрямителем 21 в постоянный ток напряжением 28 В, который через проводник выводится на внешнюю сеть. Вентилятор, установленный на роторе 19, создает циркуляционный поток газа внутри корпуса генератора 13, при этом охлаждаются обмотки статора 18 и ротора 19. Для обеспечения стабильных параметров напряжения сети в генераторе 13 установлен регулятор напряжения 22, который обеспечивает регулировку напряжения в зависимости от изменения энергопотребления. Прошедший через рабочее колесо турбины 16 газ вместе с примесями удаляется через патрубок отвода 15 газа, расположенный в днище корпуса ДГА 5.

После редуцирования газ поступает в блок переключений 1. На входном и выходных трубопроводах ГРС установлены краны с пневмоприводом, которые служат для отключения ГРС в аварийных ситуациях и для ремонта. В этом случае подача газа потребителям осуществляется по обводным линиям, каждая из которых состоит из отключающего крана и регулирующего клапана с ручным приводом. Редуцирование давления осуществляется вручную, давление газа на выходе контролируется по манометру.

После блока переключений 1 газ одорируется в блоке одоризации 23, который обеспечивает дозированную подачу одоранта пропорционально расходу газа, с сохранением возможности одоризации капельным методом. Пополнение расходных емкостей одоранта производится путем перекачивания одоранта из емкости хранения одоранта. Оборудование системы одоризации выполнено из коррозионно-стойкой стали.

Для обеспечения автономной работы системы автоматического управления и контроля, а также циркуляционного насоса системы отопления предусмотрено резервное питание с напряжением 24 В от аккумуляторов (с автоматическим поддержанием их в заряженном состоянии от внешнего источника электроснабжения), а также от входящего в состав блока редуцирования детандер - генераторного агрегата с напряжением 28 В.

2.2.4. Патент (№ 2161751), патентообладатели – частные лица, (по состоянию на 2010 год патент не действует, но может быть восстановлен):

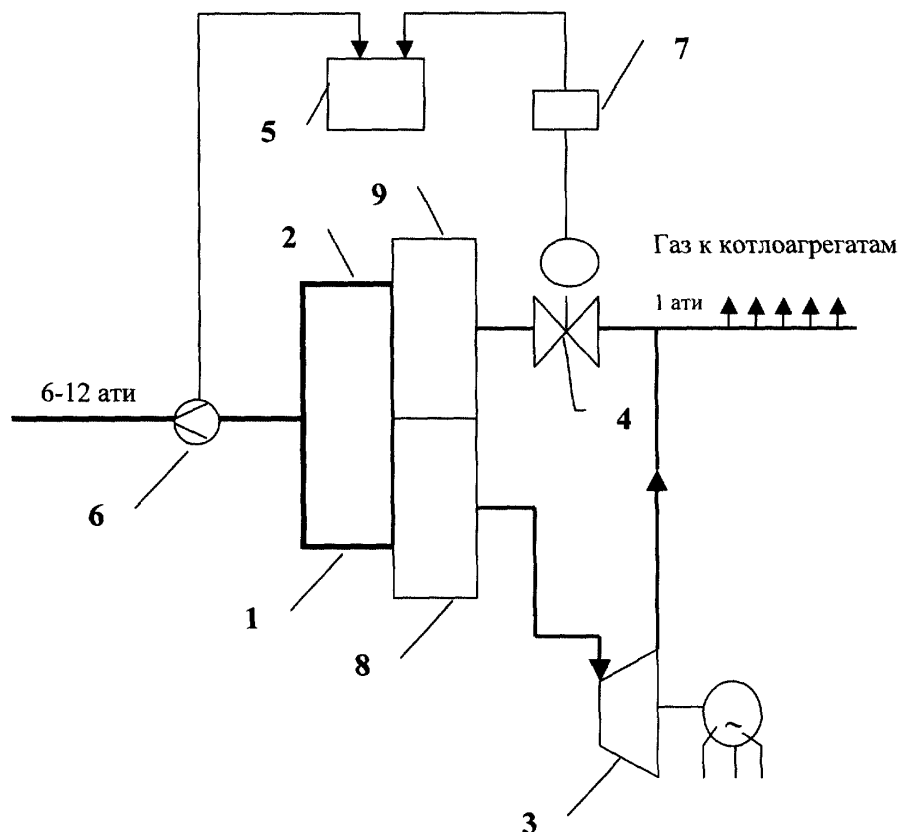


Рис.21

На газопроводе 1 установлен турбодетандер 3, на газопроводе 2 установлен регулирующий орган 4 пропорционального регулятора давления газа 5, который получает импульсы от сужающего устройства для учета общего расхода газа 6 и от датчика положения 7 регулирующего органа 4. На газопроводе 1 перед турбодетандером установлен стопорный клапан 8, на газопроводе 2 перед регулирующим органом установлен стопорный клапан 9. Оба стопорных клапана механически связаны между собой таким образом, что при закрытии стопорного клапана 8 одновременно открывается стопорный клапан 9. Механическая связь осуществляется посредством штока, соединяющего тарелки обоих стопорных клапанов, конструктивно выполненных в одном корпусе.

Устройство работает следующим образом: в нормальном режиме весь поток природного газа под давлением 6-12 ати по газопроводу 1 через открытый стопорный клапан 8 поступает к турбодетандеру 3, в котором происходит утилизация энергии давления газа с преобразованием ее в электроэнергию. После турбодетандера газ под сниженным до 1 ати давлением поступает к котлоагрегатам. Стопорный клапан 9 при этом режиме закрыт и потока газа по газопроводу 2 нет. Постоянно работающий в сторожевом режиме пропорциональный регулятор давления газа 5 получает импульсы по общему расходу газа от сужающего устройства 6 и от датчика положения 7 регулирующего органа 4. Он в любой момент удерживает свой регулирующий орган 4 в таком положении, которое соответствует общему расходу газа, необходимому для поддержания стандартного давления газа перед котлами, хотя потока газа через

регулирующий орган в нормальном режиме нет. При аварийном отключении турбодетандера 3 закрывается стопорный клапан 8 и одновременно открывается стопорный клапан 9. Весь поток газа переключается с турбодетандера на газопровод 2, а положение регулирующего органа 4 в этот момент соответствует этому расходу газа. Поэтому давление газа перед котлами в момент отключения турбодетандера не изменится, т.е. произойдет безударное переключение потока природного газа с турбодетандера на газопровод с регулятором давления газа. Поскольку в нормальном режиме весь поток газа проходит через турбодетандер, то происходит полная утилизация энергии давления газа с преобразованием ее в электроэнергию, т.е. достигается наиболее экономичный режим.

2.2.5. Патент (№ 2270395) ЗАО «Газоснабжение» (по состоянию на 2010 год патент не действует, но может быть восстановлен):

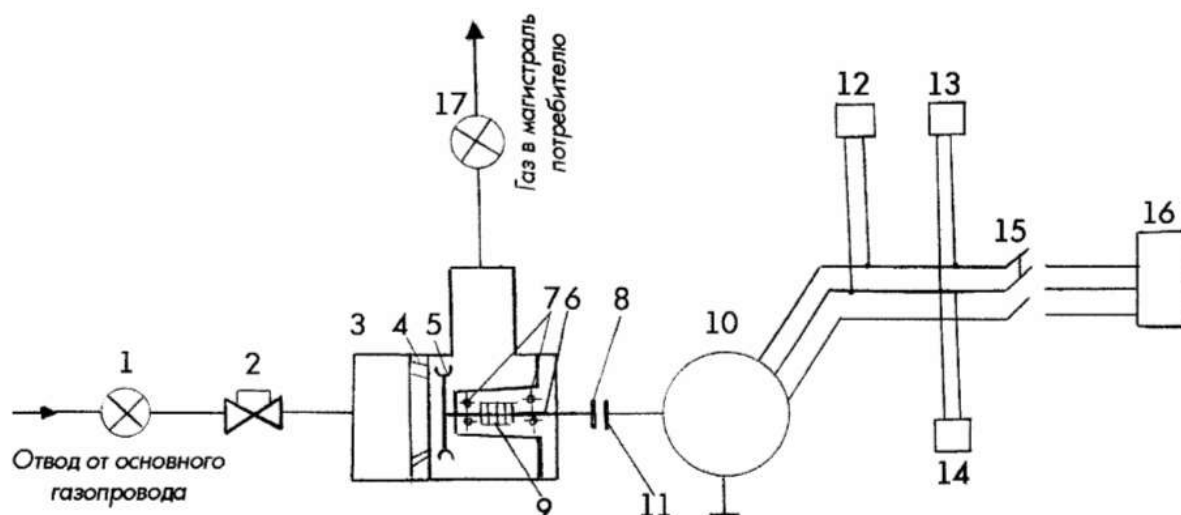


Рис.22

На рисунке представлена принципиальная схема предлагаемого устройства, оно содержит магистральный кран 1, расположенный на отводе от магистрального газопровода, связанный с регулятором давления 2, турбодетандер 3, подключенный входом к регулятору 2 и содержащий сопловой аппарат 4, рабочее колесо с лопатками специального профиля, например эвольвентными 5, упомянутое колесо 5 сидит на консольно расположенном валу 6, закрепленном на двух подшипниках 7, на конце вала расположена соединительная полумуфта 8, причем герметизация достигается за счет притирки сегментного самоуплотняющегося фторопластового или фосфитной бронзы лабиринтного уплотнения 9. К выходу синхронного генератора 10, вал которого соединен с полумуфтой 11, подключен узел 12 - контроля и защитного отключения при снижении сопротивления изоляции, блок нагрузки 13, узел, регулирующий уровень напряжения 14; через коммутирующее устройство 15 электроэнергия подается в нагрузку 16, через кран 17 газ направляется в магистраль потребителя.

Рабочий агент-газ, пройдя через кран 1, поступает в регулятор давления 2 для снижения давления до установленного уровня. Пройдя через неподвижный сопловой аппарат 4 турбодетандера 3 и каналы, образованные профильными лопатками рабочего колеса 5, струи газа воздействуют на эвольвентные лопатки и раскручивают рабочее колесо 5, сидящее на валу турбодетандера 3. При этом за счет расширения газа давление падает до расчетного в сети потребителя установленного требуемого уровня. Параметры рабочего колеса рассчитываются так, что при перепаде давления 0,1-0,2 МПа и расходе газа 0,5-0,8 кг/см на валу 6 турбодетандера 3, вращающемся с частотой сети, развивается установленная мощность. При этом генератор 10, вал которого соединен с валом турбодетандера упругой муфтой 11, вырабатывает переменный ток с промышленной частотой 50 Гц, напряжением 220-380 В и мощностью, обусловленной расчетными параметрами турбодетандера. Пройдя через турбодетандер 3, газ через кран 17 поступает в коллектор потребителя.

2.2.5. Патент (№2276758) Воронежского государственного технического университета (по состоянию на 2010 год патент не действует, но может быть восстановлен):

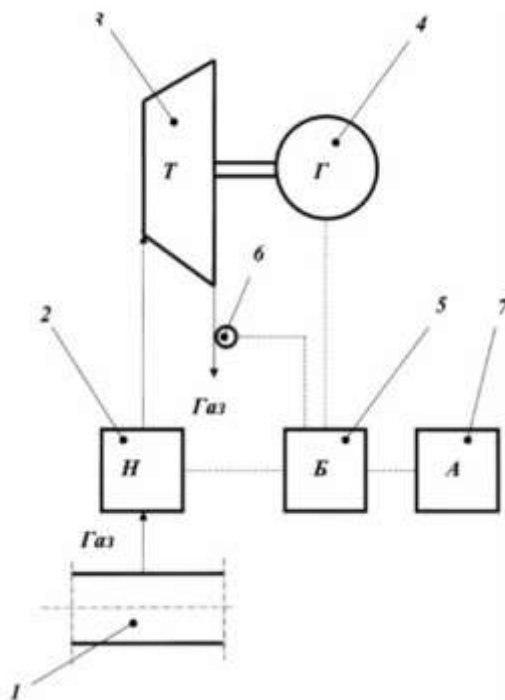


Рис.23

Установка включает магистраль 1 природного газа высокого давления, на которой последовательно установлены электрический резистивный нагреватель 2 и турбодетандер 3, кинематически связанный с электрогенератором 4. Нагреватель 2 подключен к электрогенератору 4 через блок управления 5, электрически связанный с датчиком температуры (термопарой) 6

К нагревателю 2 и электрогенератору 4 через блок управления 5 подключена аккумуляторная батарея 7.

Работа турбодетандерной установки осуществляется следующим образом.

В начальный период работы нагреватель 2 подключен к предварительно заряженной аккумуляторной батарее 7.

Природный газ высокого давления поступает в магистраль 1, подогревается в нагревателе 2 до заданной температуры, проходит через турбодетандер 3, расширяется на его лопатках и отпускается далее потребителю в виде газа низкого давления. Энергия сжатого газа переходит в кинетическую энергию турбины электрогенератора 4. Часть вырабатываемой электрогенератором 4 электроэнергии подается потребителю, а часть - на резистивный нагреватель 2 и на аккумуляторную батарею 8 для ее подзарядки. После установления рабочего режима работы установки (достижения заданной температуры горячего газа низкого давления на выходе из турбодетандера 3) блок управления 5 по сигналу от термопары 6 отключает от нагревателя 2 аккумуляторную батарею 7. После окончательной подзарядки батареи 7 блок управления 5 отключает ее от электрогенератора 4. Отклонения температуры отпускаемого потребителю газа от заданного значения регистрируется термопарой 6, электрический сигнал от которой подается на блок управления 5. Последний выдает управляющий электрический сигнал на увеличение/уменьшение степени нагрева резистивного нагревателя 2.

Для обеспечения возможности контроля температуры газа на входе в турбодетандер на его входной магистрали может быть дополнительно установлен датчик температуры (не показано), электрически связанный с блоком управления 5.

2.2.6. Патент (№ 2047060) Научно-производственная и коммерческая фирма "Криостар Лтд." (по состоянию на 2010 год патент не действует и не может быть восстановлен):

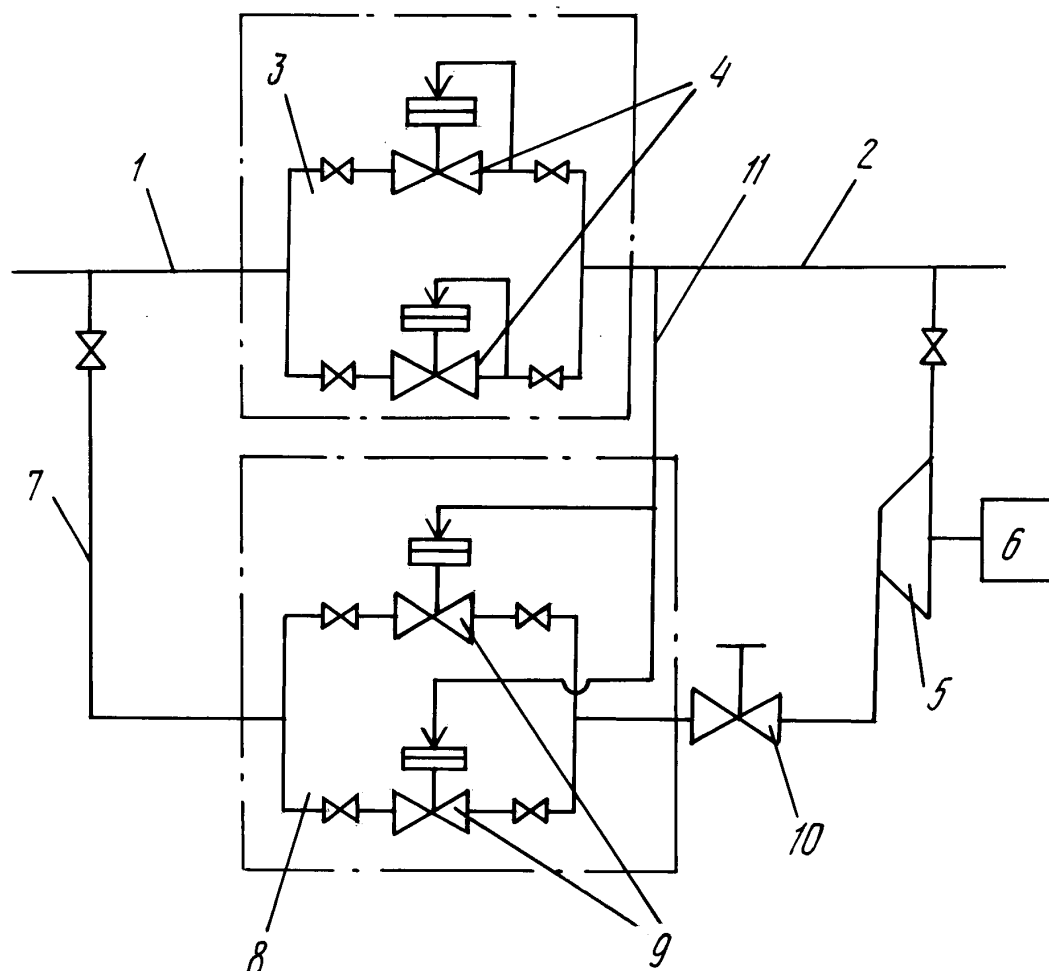


Рис.24

Газораспределительная станция включает коллекторы 1 и 2 высокого и низкого давления соответственно, основной узел 3 редуцирования с регуляторами 4 давления, детандер 5 с нагрузочным устройством 6, установленным на байпасном трубопроводе 7, подключенном параллельно основному узлу 3 редуцирования. На байпасном трубопроводе 7 на входе в детандер 5 установлены дополнительный узел 8 редуцирования с регуляторами 9 давления, отрегулированными на давление закрытия выше, чем давление закрытия регулятора 4 давления, и регулирующий кран 10. Регуляторы 9 давления соединены с коллектором 2 низкого давления трубопроводом 11 подвода импульсного газа для управления регуляторами 9.

ГРС работает следующим образом.

Газ (в зависимости от режима работы ГРС) поступает из коллектора 1 высокого давления в коллектор 2 низкого давления через основной узел 3 редуцирования или по байпасному трубопроводу 7 через дополнительный узел 8 редуцирования, регулирующей клапана 10 и детандер 5. Из коллектора 2 газ поступает потребителю.

При работе ГРС с расходом газа, равным или меньшим максимально допустимому расходу газа через детандер 5, регуляторы 4 давления основного узла 3 редуцирования закрыты. Весь газ проходит по

трубопроводу 7. При этом регуляторы 9 давления дополнительного узла 8 редуцирования по импульсу давления, подведенного к ним по трубопроводу 11, поддерживают заданный уровень давления в коллекторе 2 низкого давления на выходе из ГРС. Регулирующий клапан 10 поддерживает заданный режим работы детандера 5 дросселированием газа на входе в детандер 5 в зависимости от параметров газа после дополнительного узла 8 редуцирования и мощности нагрузочного устройства 6.

При расходе газа на ГРС большем, чем максимально допустимый через детандер, расход газа по байпасному трубопроводу 7 ограничивается регулирующим клапаном 10, который пропускает только газ для выработки в детандере 5 мощности, необходимой для привода нагрузочного устройства 6. При этом давление в коллекторе 2 понижается и регуляторы 9 давления открываются полностью. Регуляторы 4 давления открываются, перепуская часть газа через основной узел 3 редуцирования, и регулируют на выходе из ГРС давление газа.

При остановке детандера 5 и сбросе нагрузки в нагружающем устройстве 6 или при аварийной ситуации регулирующий клапан 10 закрывает перепуск газа через байпасный трубопровод 7, и весь газ идет к потребителю через основной узел 3 редуцирования, регуляторы давления которого поддерживают заданный уровень давления на выходе из ГРС.

2.2.7. Патент (№ 2079041) частных лиц (по состоянию на 2010 год патент не действует и не может быть восстановлен):

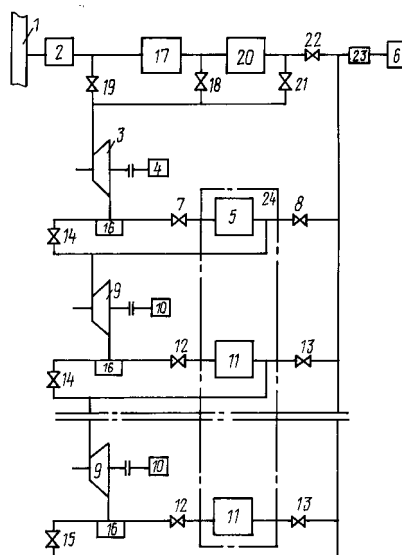


Рис.25

Устройство для использования энергии технологических перепадов давления газа в системах транспортирования газа содержит подключенные к источнику 1 газа высокого давления и последовательно соединенные между собой фильтр 2, турбодетандер 3 с электрогенератором 4, теплообменник 5 и потребитель 6 газа низкого давления, запорные элементы 7, 8, установленные на трубопроводах, соединяющих вход и выход теплообменника 5 соответственно с выходом турбодетандера 3 и

потребителем 6. При этом устройство снабжено по меньшей мере еще одним дополнительным турбодетандером 9 с электрогенератором 10 и теплообменником 11, вход и выход которого также через запорные элементы 12 и 13 соединены с выходом дополнительного турбодетандера 9 и потребителем 6. Вход каждого дополнительного турбодетандера 9 соединен с выходами предыдущего турбодетандера 3 (9) и теплообменника 5 (11) соответственно через запорный элемент 14 и непосредственно, а выход последнего по ходу потока газа турбодетандера 9 дополнительно соединен через запорный элемент 15 с потребителем 6.

Кроме того, устройство может быть снабжено конденсатосборниками 16, установленными на выходе из турбодетандеров 3 и 9 перед запорными элементами 7, 12, 14, 15.

Также устройство может быть снабжено подогревателем 17, сообщенным входом и выходом соответственно с выходом фильтра 2 и входом первого по ходу потока турбодетандера 3, и двумя запорными элементами 18 и 19, один из которых установлен на выходе из подогревателя 17, а другой на входе в турбодетандер 3 до подключения к последнему выхода подогревателя 17.

Дополнительно устройство может быть снабжено блоком 20 редукционных клапанов, соединенным с подогревателем 17, и запорными элементами 21 и 22, установленными на трубопроводах, соединяющих выход блока 20 с входом первого турбодетандера 3 и потребителем 6.

Кроме того, перед входом газа к потребителю 6 может быть установлено замерное устройство 23. А теплообменники 5, 11 могут быть установлены, например, в камере 24 охлаждения. Камера 24 может быть разделена на холодильную и морозильную.

Способ использования энергии перепадов давления газа в системах транспортирования газа осуществляется в устройстве следующим образом. Газ источника 1 высокого давления, в данном случае магистрального газопровода, поступает в фильтр 2, где очищается от пыли или других механических частиц. После этого при открытом запорном элементе 19 газ подается в турбодетандер 3, где реализуется первая ступень расширения газа с отводом механической энергии для привода электрогенератора 4 и соответствующим снижением температуры газа. В зависимости от уровня снижения температуры газа после первой ступени расширения в турбодетандере 3, а она определяется температурой газа на входе в ступень расширения, от степени расширения и КПД турбодетандеров 3 (9), а также от потребности холода в камере 24 охлаждения охлажденный газ после первого турбодетандера 3 направляется в теплообменник 5 камеры 24 охлаждения при открытом запорном элементе 7. Нагретый газ из теплообменника 5 камеры 24 охлаждения при закрытом запорном элементе 8 поступает в следующую ступень расширения дополнительного турбодетандера 9 с отводом механической энергии для привода электрогенератора 10 и снижением температуры газа. Охлажденный газ

направляется в теплообменник 11. Далее газ поступает в каждую последующую ступень расширения при закрытых запорных элементах 13.

Газовый поток, пройдя последнюю ступень расширения в турбодетандере 9 и последний теплообменник 11, при открытом последнем запорном элементе 13 по трубопроводу поступает в технологическую линию к потребителю 6. При этом при частично открытом запорном элементе 22 газ может смешиваться с той частью потока, которая не используется в турбодетандерах 3, 9, это примерно около 20% общей пропускной способности. Эта часть газового потока проходит нагреватель 17, блок 20 редукционных клапанов, где снижается давление до давления, необходимого потребителю 6, и затем через замерное устройство 23 газ по трубопроводу направляется потребителю 6 газа низкого давления. Если температура газа недостаточно снизилась в первой ступени турбодетандера 3, то при закрытом запорном элементе 7 и открытом элементе 14 газ подается непосредственно в дополнительный турбодетандер 9 для реализации второй ступени расширения также с отводом механической энергии для привода электрогенератора 10 и снижением температуры газа. Далее охлажденный газ из второго турбодетандера 9 направляется в теплообменник 11.

Для хранения большинства видов продуктов питания необходимо поддерживать в камере 24 охлаждения температуру воздуха около 0°C, для замораживания - до минус 15 - 20°C. Ступенчатое расширение газа позволяет удовлетворить указанные требования при высокой энергетической эффективности. Например, при степени расширения газа в одной ступени турбодетандера 3 и 9, равной 1,3 - 1,4, температура газа снижается на 12 - 17°C. Если на входе в систему температура газа составит около 0°C, то уже после первой ступени создаются достаточные условия для эффективного хладосъема. На выходе газа из второго и последующих турбодетандеров 9 температура может поддерживаться постоянной в пределах минус 15 - 20°C. При необходимости обеспечения заморозки продуктов, т.е. для создания более низкой температуры (до минус 25 - 30°C), выключается теплообменник между двумя последовательно включенными агрегатами путем закрытия запорного элемента 7. Другими словами, ступенчатость расширения газа и регулируемое снижение температуры газового потока создают условия гибкого реагирования комплекса на требования потребителей холода при постоянной выработке электроэнергии.

В том случае, когда потребность в холоде меньше располагаемой хладопроизводительности, газ для турбодетандеров 3 и 9 отбирается после подогревателя 17. При этом запорный элемент 19 закрывается, а запорный элемент 18 открывается.

2.2.8. Патент (№ 2083914) ЗАО «Инсерв» (по состоянию на 2010 год патент не действует и не может быть восстановлен):

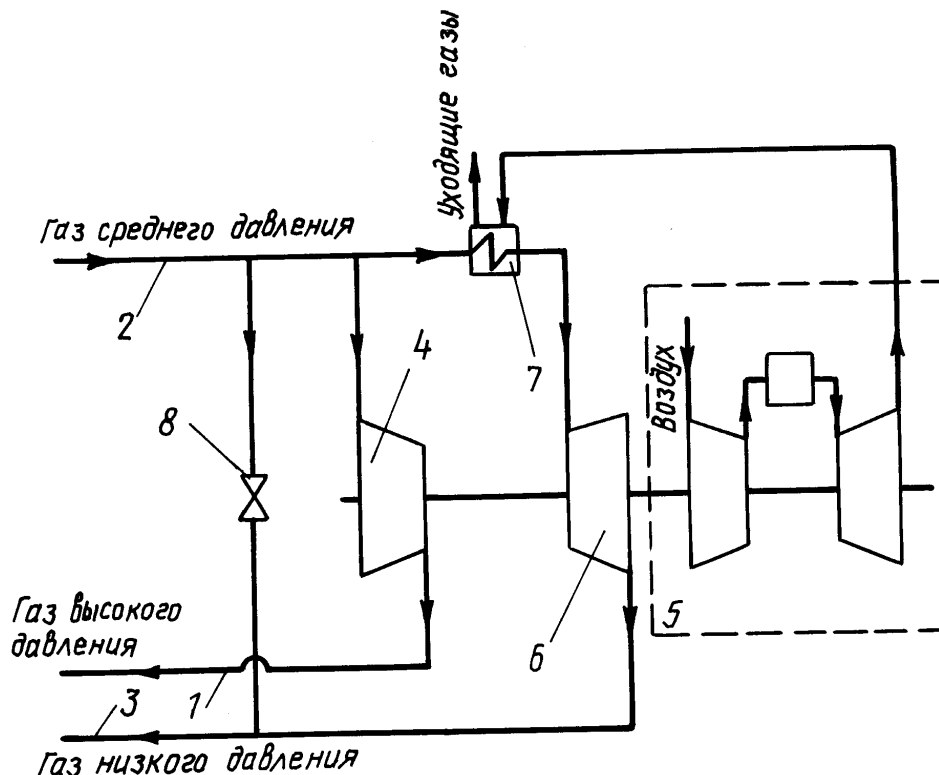


Рис.26

Система газоснабжения содержит трубопроводы природного газа высокого 1, среднего 2 и низкого 3 давления и газоперекачивающий агрегат, включающий кинематически соединенные между собой нагнетатель 4, приводной двигатель, выполненный в виде газотурбинной установки 5 с выхлопным трактом, и турбодетандер 6, причем входные патрубки нагнетателя 4 и турбодетандера 6 подключены к трубопроводу 2 среднего давления, выходной патрубок нагнетателя 4 к трубопроводу 1 высокого давления, а выходной патрубок турбодетандера 6 к трубопроводу 3 низкого давления. Система дополнительно снабжена теплообменником 7, размещенным на трубопроводе 2 среднего давления между местами подключения нагнетателя 4 и турбодетандера 6 по ходу газа среднего давления и соединенным своим входом по греющей среде с выхлопным трактом газотурбинной установки 5, а выходом с атмосферой. Система также снабжена дроссельным клапаном 8, который служит в качестве резервного и включается в работу при неработающем турбодетандере 6.

Система газоснабжения работает следующим образом.

Часть газа с температурой 5-20°C, давлением 4-5 МПа из трубопровода 2 среднего давления поступает в теплообменник 7 уходящих газов газотурбинной установки 5. В теплообменнике 7 газ нагревается до 100-150°C и далее направляется в турбодетандер 6, где происходит расширение газа со снижением давления до 1,2-1,5 МПа с одновременным совершением полезной работы определенной мощности, передаваемой на вал нагнетателя 4. Из турбодетандера 6 газ с давлением 1,2-1,5 МПа и температурой 10-20°C направляется в трубопровод 3 низкого давления потребителю.

Другая часть газа из трубопровода 2 среднего давления направляется к нагнетателю 4, где сжимается до давления 5-6 МПа и далее направляется в трубопровод 1 высокого давления.

Уходящие газы газотурбинной установки 5 с температурой 400-450°C направляются в теплообменник 7, где охлаждаются до 100-120°C и уходят в атмосферу. Переданное в теплообменнике 7 тепло воспринимается природным газом для повышения температуры до 100-150°C.

2.2.9. Патент (№ 2091592) частных лиц (по состоянию на 2010 год патент не действует и не может быть восстановлен):

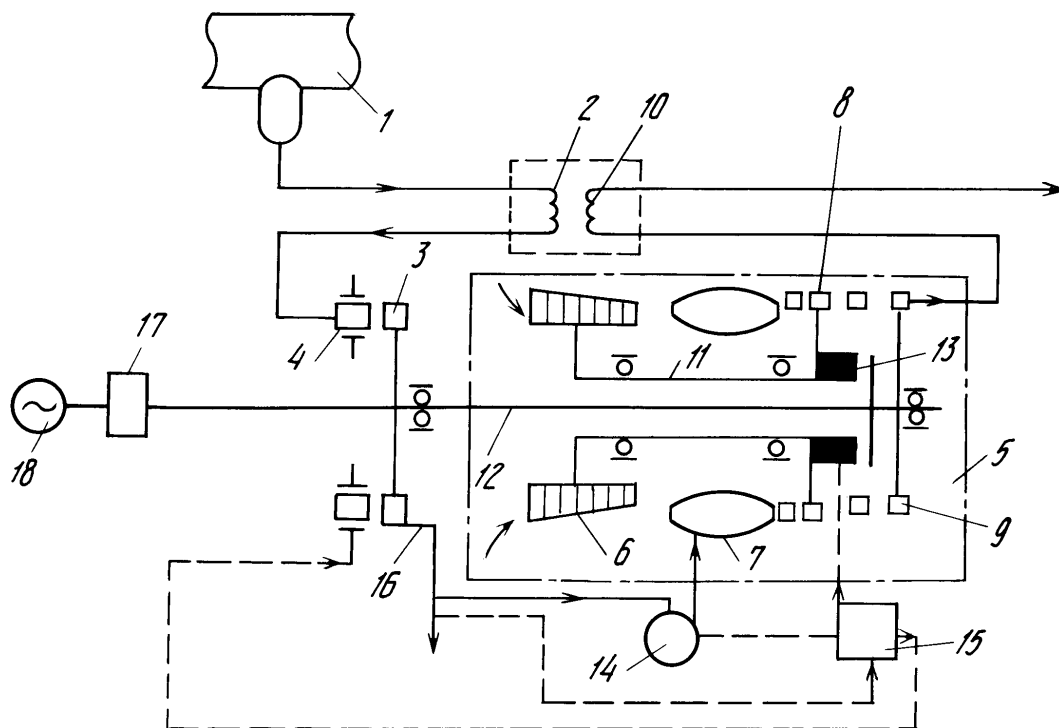


Рис.27

Установка включает магистраль 1 природного газа высокого давления, теплообменник 2 природного газа, турбодетандер 3 природного газа с регулируемым сопловым аппаратом (РСА) 4, авиационный газотурбинный двигатель 5, включающий воздушный компрессор 6, камеру сгорания 7, турбину 8 высокого давления, турбину 9 низкого давления, теплообменник-регенератор 10, совмещенный с теплообменником 2, вал 11 контура высокого давления, вал 12 контура низкого давления, устройство 13 соединения валов 11 и 12. Установка также включает дозатор 14 газа, систему 15 управления дозатором 14 и регулируемым сопловым аппаратом 4, выходную магистраль 16 турбодетандера 3, редуктор 17, электрогенератор 18.

Природный газ высокого давления из магистрали 1 поступает в теплообменник 2, где нагревается теплом выхлопных газов, поступающих из авиационного двигателя 5 в теплообменник-регенератор 10, и поступает через регулируемый сопловой аппарат 4 в турбодетандер 3. В турбодетандере 3 природный газ снижает давление и температуру и поступает через выходную магистраль 16 к потребителю. При изменении давления газа в магистраль 1 давление в магистрали 16 поддерживается практически постоянным с помощью РСА 4 путем изменения его проходного сечения: поворот лопаток РСА происходит по сигналу из системы 15, фиксирующей изменение давления природного газа в выходной магистрали 16. Мощность турбодетандера 3 складывается с мощностью турбины 9 через вал 12 и передается через редуктор 17 электрогенератору 18. Работа авиационного двигателя 5 осуществляется по традиционной схеме: воздух из атмосферы поступает в воздушный компрессор 6, где, сжимаясь, поступает в камеру сгорания 7. В камеру сгорания 7 поступает также природный газ через дозатор газа 14 из магистрали 16. В результате сгорания природного газа в камере сгорания 7 горячий газ повышенного давления и температуры поступает на турбину 8, связанной валом 11 с компрессором 6 и приводящей его во вращение. После турбины 8 газ поступает в турбину 9, из которой он направляется через теплообменник-регенератор 10 в атмосферу. С помощью дозатора газа 14 регулируется температура газа в камере сгорания 7 путем изменения количества природного газа, отбираемого из магистрали 16. При полном закрытии дозатора газа 14 полностью прекращается поступление топлива в камеру сгорания 7 и прекращается работа турбины 8 и компрессора 6. В этом случае мощность электрогенератору 18 передает только турбодетандер 3. Однако такой режим работы установки может нормально осуществляться только при температуре $T_{тпг}$ природного газа в магистрали 16 не ниже 273°K из-за опасности образования газгидратных соединений при уровне температура в магистрали 16, близкой к 273°K . При достижении температуры $T_{тпг}$ ниже 273°K , что фиксируется с помощью устройства 15, связанного с дозатором газа 14, подается команда на соединение валов 11 и 12 с помощью устройства 13, начинается раскрутка вала 11 турбодетандером 3 и одновременно открывается дозатор газа 14 с подачей природного газа в камеру сгорания 7. При поступлении горячего газа на турбины 8 и 9 начинается самостоятельная работа авиационного двигателя с отсоединением валов 11 и 12 в момент достижения, например, равенства частот вращения валов 11 и 12. Тепло выхлопных газов нагревает природный газ в теплообменнике 2, что приводит к повышению температуры природного газа в магистрали 16. Этим обеспечивается надежность работы установки при любой температуре (в том числе и минусовой) природного газа в магистрали 1.

2.2.10. Патент (№ 2110022) частных лиц (по состоянию на 2010 год патент не действует и не может быть восстановлен):

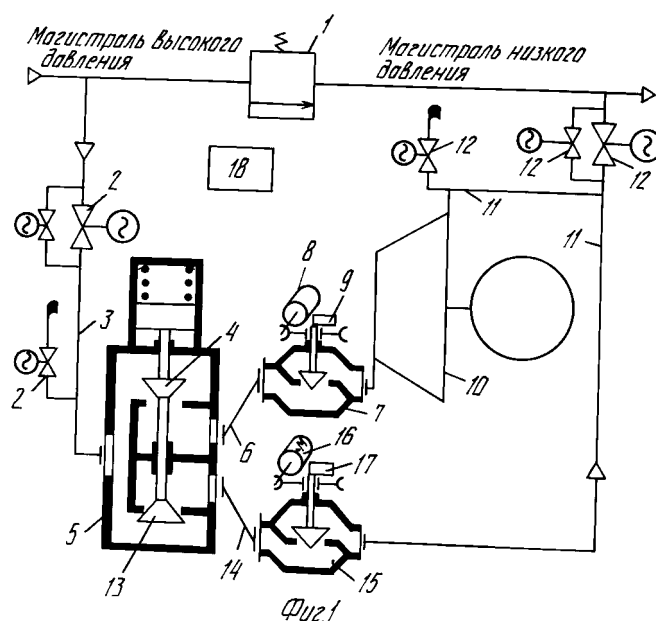


Рис.28

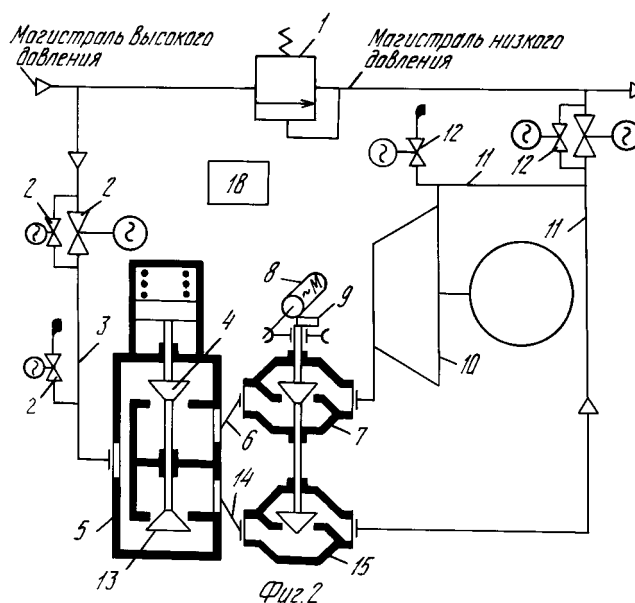


Рис.29

Магистраль высокого давления перед газораспределительной станцией 1 связана через систему отсечных задвижек 2, магистраль 3, клапан 4 быстродействующего стопорного клапана 5, отводную линию 6 и регулирующий орган 7 (например, в виде впускного направляющего аппарата) с приводом 8 (например, электрическим или гидропневматическим) и датчиком положения 9 с турбодетандером 10, связанным также магистралью 11 и системой отсечных задвижек 12 с магистралью низкого давления, т.е. турбодетандер 10 установлен параллельно газораспределительной станции 1. Также магистраль высокого давления соединена с магистралью низкого давления, минуя турбодетандер

10, через систему отсечных задвижек 2, магистраль 3, клапан 13 быстродействующего стопорного клапана 5, отводную линию 14, байпасный клапан 15 с приводом 16 (например, электрическим или гидропневматическим) и датчиком положения 17, магистраль 11 и систему отсечных задвижек 12. Для управления турбодетандером 10 установлена система агрегатной автоматики 18.

При пуске турбодетандера 10 по команде из системы агрегатной автоматики 18 клапан 4 стопорного клапана 5 открывается и газ поступает к регулирующему органу 7 и далее в турбодетандер 10. Турбодетандер 10 вступает в работу. Клапан 13 в стопорном клапане 5 при этом закрыт, перекрывая путь газа к байпасному клапану 15, но сам байпасный клапан 15 открывается в это время (хотя расхода газа через него нет) по команде из системы агрегатной автоматики 18 по сигналам датчиков положения 9 и 17, синхронно отслеживая положение регулирующего органа 7. При этом пропускная способность байпасного клапана 15 равна пропускной способности регулирующего органа 7. При аварийной остановке турбодетандера 10 клапан 4 в стопорном клапане 5 быстро перекроет поступление газа высокого давления к регулирующему органу 7, следовательно, и к турбодетандеру 10, а откроет клапаном 13 поступление газа в обвод турбодетандера 10 через байпасный клапан 15 (с дросселированием в нем). В результате количество газа (низкого давления), поступающего к потребителю, практически не изменится при остановке турбодетандера 10, а возможные небольшие изменения давления газа откорректируют регуляторы давления на газораспределительной станции. Системы электроприводных задвижек 4 и 12 необходимы для организации правильного и безопасного заполнения газом, пуска, останова турбодетандера 10 и отключения его от магистралей высокого и низкого давлений. В случае выполнения регулирующего органа 7 и байпасного клапана 15 в виде двух механически связанных между собой клапанов (возможно и в одном корпусе) с единым приводом 8 (фиг. 2) работает система регулирования так же, как описано выше (к фиг. 1), только облегчается задача обеспечения одинаковой пропускной способности регулирующего органа 7 и байпасного клапана 15 (не требуются датчик положения 17 и привод 16 на байпасном клапане 15 и алгоритм слежения).

2.2.11. Патент (№ 2134375) ЗАО "Завод "Киров-Энергомаш" (по состоянию на 2010 год патент не действует и не может быть восстановлен):

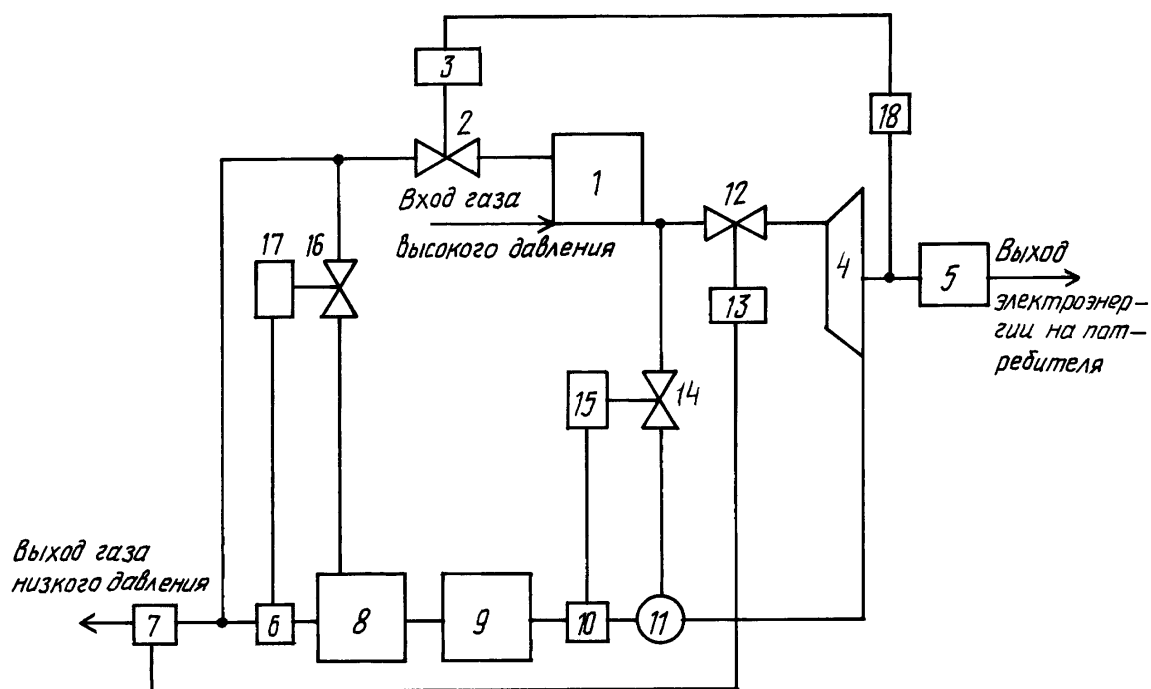


Рис.30

Газораспределительная станция содержит подогреватель 1 газа высокого давления, одним входом соединенным с газопроводом высокого давления, а другим входом - через регулирующий клапан 2 - с газопроводом низкого давления, регулятор 3 подогревателя 1 газа высокого давления соединен с управляющим входом регулирующего клапана 2 подогревателя 1 газа высокого давления. Турбина 4 выходным валом соединена с электрогенератором 5, имеющим выход на потребителя электроэнергии. Газопровод низкого давления, имеющий выход на потребителя газа, снабжен первым датчиком 6 температуры и датчиком 7 давления, установленными на выходе подогревателя 8 газа низкого давления, а также последовательно соединенными холодильной камерой 9, вторым датчиком 10 температуры и смесителем 11, соединенным с выходом турбины 4. Выход подогревателя 1 газа высокого давления газопроводом с регулирующим клапаном 12 соединен с входом турбины 4. Управляющий вход регулирующего клапана 12 соединен с выходом регулятора 13, а его вход соединен с четвертой импульсной линией с датчиком 7 давления. Выход подогревателя 1 газа высокого давления соединен также газопроводом с размещенным в нем регулирующим клапаном 14 холодильной камеры 9 со смесителем 11 газопровода низкого давления. Управляющий вход регулирующего клапана 14 соединен с выходом регулятора 15 холодильной камеры 9. Вход регулятора 15 второй импульсной линией соединен со вторым датчиком 10 температуры. Вход регулирующего клапана 2 подогревателя 1 газа высокого давления газопроводом с размещенным в нем регулирующим клапаном 16 соединен с входом подогревателя 8 газа низкого давления. Управляющий вход регулирующего клапана 16 соединен с выходом регулятора 17 подогревателя 8 газа низкого давления. Вход

регулятора 17 первой импульсной линией соединен с первым датчиком 6 температуры. Вход регулятора 3 подогревателя 1 газа высокого давления соединен третьей импульсной линией с датчиком 18 оборотов выходного вала турбины 47.

Газораспределительная станция работает следующим образом.

Газ по газопроводу высокого давления поступает в подогреватель 1 газа высокого давления, где подогревается за счет сгорания газа, поступающего через регулирующий клапан 2 из газопровода низкого давления. Регулирующим клапаном 2 управляет регулятор 3, получающий сигнал по третьей импульсной линии от датчика 18 оборотов турбины 4, вращающей электрогенератор 5. Таким образом, подогрев газа в подогревателе 1 высокого давления вызывает изменение температуры газа на входе и выходе турбины 4 и в смесителе 11. Для стабилизации температуры в холодильной камере 9 по второй импульсной линии датчиком 10 подается управляющий сигнал на регулятор 15 холодильной камеры 9, который управляет регуливающим клапаном 14, т.е. при снижении температуры по сравнению с настройкой регулятора 15 клапан 14 открывается, а при повышении - закрывается. Стабилизация температуры в газопроводе низкого давления осуществляется датчиком 6 температуры. При этом по первой импульсной линии поступает сигнал в регулятор 17, который управляет регуливающим клапаном 16 подогревателя 8 газа низкого давления, т.е. при снижении температуры по сравнению с настройкой регулятора 17 клапан 16 открывается, а при ее повышении закрывается. Регулирование давления в газопроводе низкого давления осуществляется датчиком 7 давления, подающим сигнал в регулятор 13, на управляющий клапан 12 турбины 4, т.е. при снижении давления по сравнению с настройкой регулятора 13, клапан 12 турбины 4 открывается, при повышении - закрывается.

2.2.12. Патент (№ 2147100) частного лица (по состоянию на 2010 год патент не действует и не может быть восстановлен):

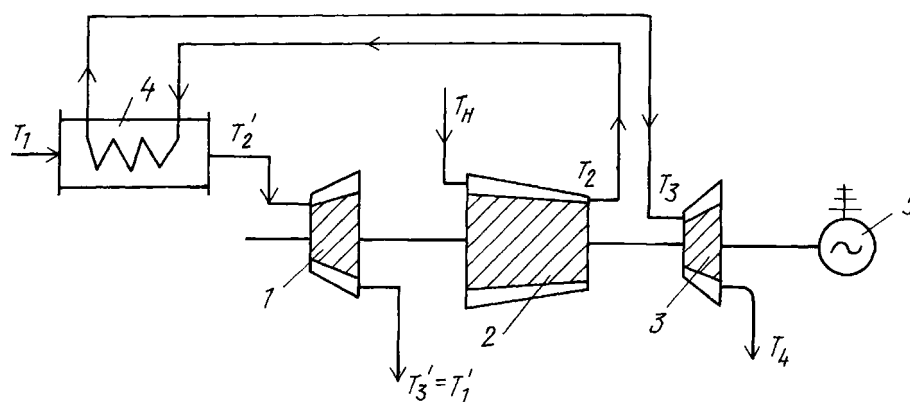


Рис.31

Установка содержит газовую турбину (турбодетандер) 1, воздушный компрессор теплового насоса 2, воздушную турбину 3, газоздушный теплообменник 4, генератор электрического тока 5. Причем выходной

патрубок воздушного компрессора 2 связан с входным патрубком газозвдушного теплообменника 4, а выходной патрубок воздушного теплообменника связан с входом в сопловой аппарат воздушной турбины 3 теплового насоса.

Сущность изобретения заключается в том, что подогрев магистрального газа осуществляется в газозвдушном теплообменнике 4. При этом получение теплоэнергии осуществляется не только за счет срабатывания перепада давления магистрального газа при расширении в газовой турбине (турбодетандере) 1, а также за счет утилизации тепла атмосферного воздуха с помощью теплового насоса, когда атмосферный воздух сжимают в воздушном компрессоре 2 теплового насоса.

2.2.13. Патент (№2148218) частных лиц (по состоянию на 2010 год патент не действует и не может быть восстановлен):

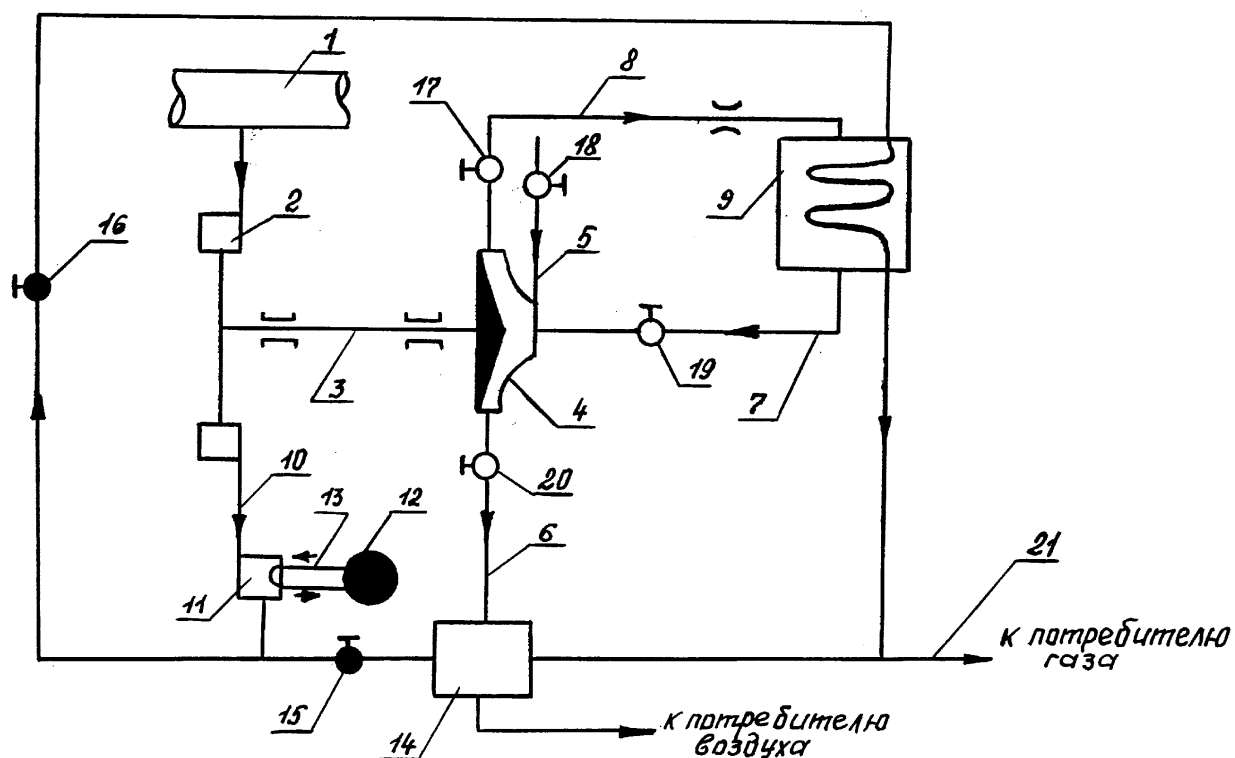


Рис.32

Установка включает магистраль 1 природного газа высокого давления, турбодетандер 2, вал 3, лопаточную машину 4 по повышению давления рабочей среды, магистраль 5 подвода атмосферного воздуха, магистраль 6 отвода воздуха повышенного давления, магистраль 7 подвода жидкости, магистраль 8 отвода жидкости повышенного давления, расходную емкость 9, магистраль 10 после турбодетандера 2, теплообменник 11, потребитель 12 холода, контур 13 хладоносителя, теплообменник 14, запорные органы 15-20, магистраль 21 природного газа, направляемого к потребителю.

Работа установки, схематично представленной на чертеже, осуществляется следующим образом применительно к двум вариантам

реализации предлагаемого способа: первый вариант - работа лопаточной машины 4 в качестве воздушного компрессора, второй вариант - работа лопаточной машины 4 в качестве насоса. Оба варианта могут реализоваться как в одном агрегате (турбодетандер 2 - вал 3 - лопаточная машина 4), так и в разных агрегатах. Последнее предусматривает замену агрегатов при переходе от рабочего тела в виде воздуха к рабочему телу в виде жидкости. Очевидно, что более оптимальным с позиций надежности и эффективности реализации способа работы турбодетандерной установки является второй вариант, однако, он сопряжен с дополнительными трудностями по замене агрегатов при переходе с воздуха на жидкость. Для упрощения иллюстративного описания схемы по чертежу представим первый вариант работы установки. В рамках приведенных допущений природный газ высокого давления, поступающий из магистрали 1, направляют в турбодетандер 2, приводя его во вращение с одновременным снижением давления природного газа. Вращение турбодетандера 2 и его мощность посредством вала 3 передается лопаточной машине 4, которая при закрытых органах 16, 17 и 19 и при открытых органах 15, 18 и 20 работает как воздушный компрессор. В этом случае воздух из атмосферы засасывается по магистрали 5 в лопаточную машину 4, в которой повышается давление и температура воздуха. После лопаточной машины 4 воздух направляется по магистрали 6 в теплообменник 14, в котором отдает часть тепла природному газу, поступающему к потребителю по магистрали 21, и тем самым повышает его температуру. После теплообменника 14 охлажденный воздух повышенного давления направляют к потребителю, в качестве которого может быть использована воздушная турбина с электрогенератором или иным потребителем мощности. При этом помимо электроэнергии можно получать и воздух пониженной температуры после его прохождения через турбину. Природный газ поступает в теплообменник 14 после теплообменника 11, в котором он предварительно нагревается за счет передачи тепла от потребителя холода 12 с помощью хладоносителя 13. В теплообменник 11 охлажденный природный газ поступает после турбодетандера 2 по магистрали 10. При закрытых органах 15, 18, 20 и открытых органах 16, 17, 19 установка (см. чертеж) работает по второму варианту, когда лопаточная машина 4 функционирует в качестве насоса. В таком варианте способа работы турбодетандерной установки лопаточная машина 4 всасывает по магистрали 7 жидкость из расходной емкости 9 и направляет ее по магистрали 8 снова в расходную емкость 9. Иными словами, циркулирование жидкости по замкнутому контуру позволяет преобразовать энергию давления жидкости в тепловую энергию, что дает возможность нагревать природный газ, поступающий после теплообменника 11 через орган 16 в расходную емкость 9 и в магистраль 21 к потребителю газа с требуемой температурой.

Снижение давления природного газа в турбодетандере 2 приводит к снижению температуры газа в магистрали 10. Использование теплообменника 11 позволяет предварительно (до теплообменника 14)

нагреть природный газ путем снижения температуры хладоносителя 13 и тем самым передать холод потребителю 12. В теплообменнике 14 или в расходной емкости 9 природный газ окончательно нагревается до температуры, необходимой для надежной работы как магистрали 21, так и самого потребителя.

2.2.14. Патент (№ 2150641) Московский энергетический институт (по состоянию на 2010 год патент не действует и не может быть восстановлен):

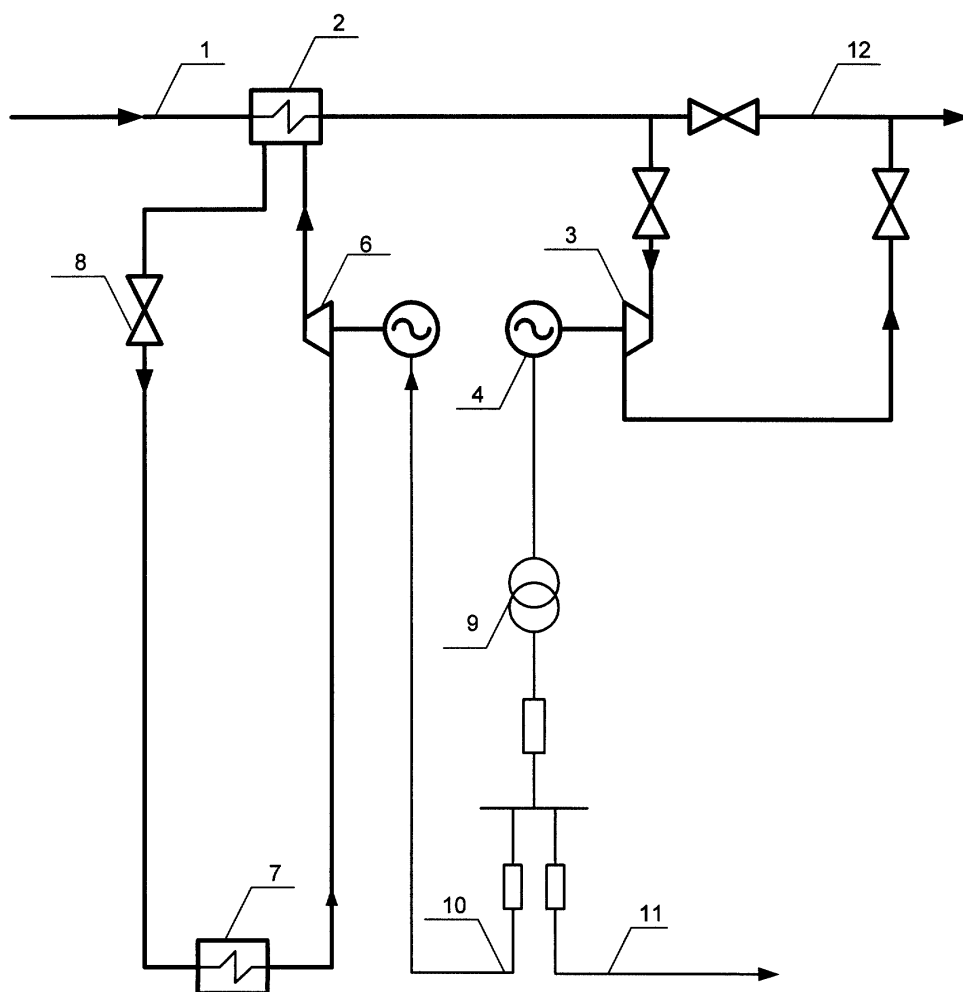


Рис.33

Установка содержит трубопровод высокого давления 1, установленные по ходу газа и последовательно соединенные теплообменник 2, детандер 3, кинематически соединенный с электрическим генератором 4. Электрический генератор 4 электрически соединен с двигателем 5, приводящим в движение компрессор 6. Вход компрессора 6 соединен с выходом испарителя 7, вход которого через дросселирующее устройство 8 соединен с выходом теплообменника 2, образуя тепловой насос.

Электрическая связь электрического генератора 4 с электродвигателем 5 осуществляется через трансформатор 10, низковольтная обмотка которого

имеет отводы 11 и 12 для соединения с электродвигателем 5 и внешней электрической сетью соответственно. На выходе детандера - трубопровод низкого давления 13.

Установка работает следующим образом. Газ высокого давления поступает по трубопроводу 1 в теплообменник 2, греющей средой в котором служит низкокипящая жидкость контура теплового насоса, направляемая в теплообменник компрессором 6, вращаемым электродвигателем 7. Низкокипящая жидкость отдав тепло в теплообменнике 2 расширяется в дросселирующем устройстве 8, после чего поступает в испаритель 9, где нагревается за счет низкопотенциального тепла окружающей среды и подается во входной патрубок компрессора 6. Нагретый в теплообменнике 2 газ высокого давления поступает в детандер 3. После совершения механической работы и расширения в детандере 3 газ поступает в трубопровод низкого давления 13, а механическая работа газа, полученная в детандере 3, преобразуется в электрическую энергию в электрическом генераторе 4. Часть полученной в нем электрической энергии через трансформатор 10 и отвод 11 используется для приведения в действие электродвигателя 5 компрессора 6. Избыток электроэнергии, выработанной электрическим генератором 4, может быть через трансформатор 10 и отвод 12 направлен во внешнюю сеть.

Таким образом, повышение экономичности и экологических показателей обусловлено отказом от постороннего источника тепла для нагрева газа перед детандером и использованием для этой цели энергии транспортируемого газа и низкопотенциального тепла окружающей среды.

2.2.15. Патент (№ 2199020) Уфимский государственный авиационный технический университет, (по состоянию на 2010 год патент не действует и не может быть восстановлен):

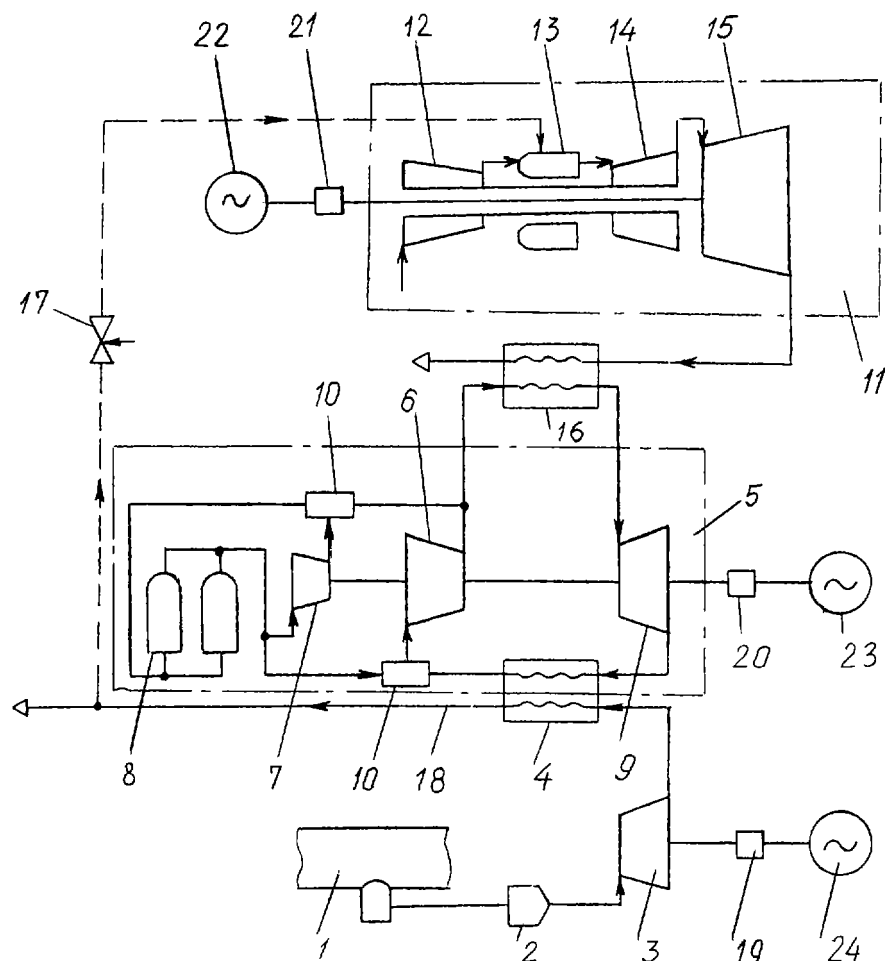


Рис.34

Установка содержит магистраль природного газа высокого давления 1, влагоотделитель 2, турбодетандер 3, низкотемпературный теплообменник 4, тепловой двигатель с замкнутым контуром циркуляции рабочего тела (замкнутая газотурбинная установка) 5, компрессор 6, подкачивающий компрессор 7, расходные баллоны 8 низкого и высокого давлений, турбины 9, дозатор рабочего тела 10, газотурбинный двигатель 11, содержащий воздушный компрессор 12, камеру сгорания 13, газовую турбину 14, свободную турбину 15, теплообменник-утилизатор 16, дозатор газа 17, выходную магистраль газа низкого давления 18, редукторы 19, 20, 21 и электродвигатели 22, 23, 24.

Установка работает следующим образом.

Природный газ высокого давления из магистрали 1 после влагоотделителя 2 поступает в турбодетандер 3. В турбодетандере 3 природный газ снижает давление до требуемого уровня и при температуре ниже температуры окружающей среды поступает в низкотемпературный теплообменник 4, нагревается полученной теплотой от рабочего тела замкнутой газотурбинной установки и поступает через выходную магистраль 18 в распределительную сеть к потребителю. Мощность турбодетандера 3 через редуктор 19 передается электродвигателю 24. Работа замкнутой газотурбинной установки 5 осуществляется по традиционной схеме: рабочее

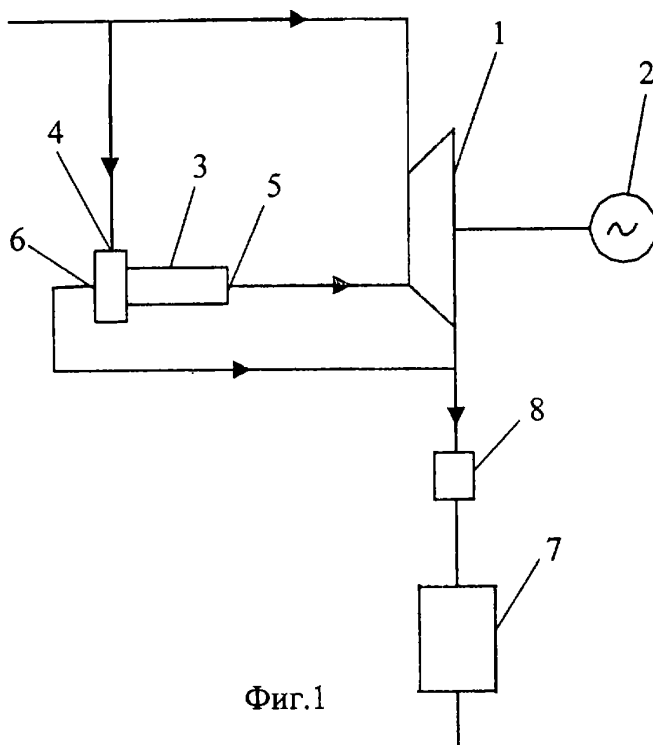
тело циркулирует внутри замкнутого контура установки, где осуществляется его сжатие в компрессоре 6, нагрев в теплообменнике-утилизаторе 16 теплотой выхлопных газов ГТД 11, расширение с одновременным его охлаждением в турбине 9, утилизация теплоты рабочего тела в низкотемпературном теплообменнике 4 с его охлаждением и последующим сжатием в компрессоре 6. Мощность ЗГТУ 5 можно варьировать изменением массового расхода рабочего тела с помощью дозаторов 10, подкачивающего компрессора 7 и расходных баллонов 8 низкого и высокого давления, содержащих запас рабочего тела. Мощность ЗГТУ через редуктор 20 передается электрогенератору 23. Работа газотурбинного двигателя 11 происходит за счет сжатия воздуха, поступающего из атмосферы, в компрессоре 12, который затем поступает в камеру сгорания 13, куда подается природный газ через дозатор газа 17 из магистрали 18. В результате сгорания природного газа в камере сгорания 13 продукты сгорания повышенного давления и температуры поступают на турбину 14, связанную валом с компрессором 12 и приводящую его во вращение. После турбины 14 продукты сгорания поступают в турбину 15, из которой они направляются через теплообменник-утилизатор 16 в атмосферу. С помощью дозатора 17 регулируется температура газа в камере сгорания 13 путем изменения количества природного газа, отбираемого из магистрали 16, и, следовательно, мощность турбины 15, которая через редуктор 21 передается электрогенератору 22. Теплота выхлопных газов нагревает в теплообменнике-утилизаторе 16 рабочее тело ЗГТУ 5, что обеспечивает ее работоспособность и приводит к повышению температуры природного газа в магистрали 18. Этим обеспечивается надежность работы комбинированной газотурбинной установки при любой температуре природного газа в магистрали 1.

Возможность варьирования режимами ГТД 11 и ЗГТУ 5, а также использование низкой температуры природного газа, получаемой в турбодетандере 3, приводит к повышению эффективности бинарного цикла комбинированной газотурбинной установки при сохранении надежности функционирования по сравнению с известными техническими решениями, в частности с прототипом.

Перечисленные положительные свойства способа работы комбинированной газотурбинной установки позволяют повысить эффективность съема электрической энергии с одного килограмма природного газа, широко варьировать мощностями электрогенераторов в зависимости от запросов потребителя, обеспечить гарантийные значения давления и температуры газа, транспортируемого в системах ГРС, а также осуществить утилизацию:

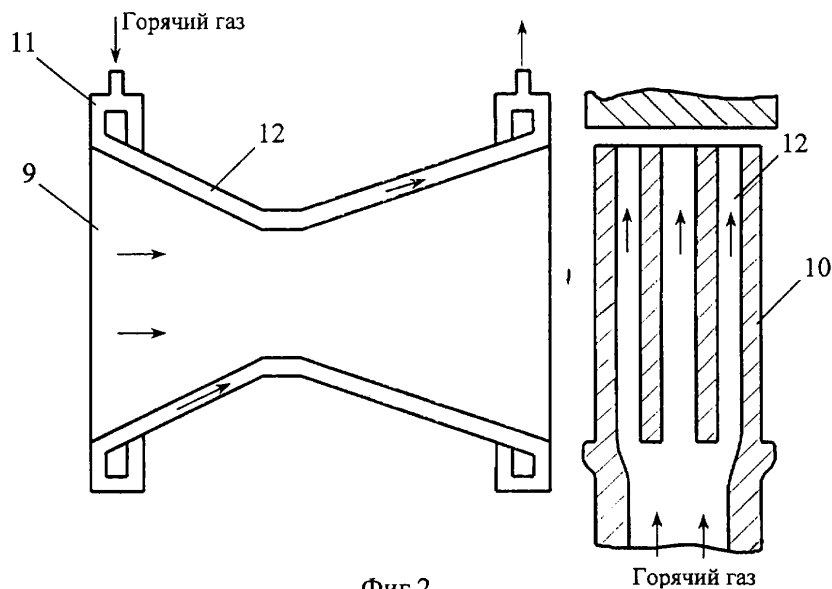
- теплоты продуктов сгорания газотурбинного двигателя;
- физической эксергии природного газа, транспортируемого по магистральным трубопроводам под высоким давлением.

2.2.16. Патент (№2213915) Уфимский государственный авиационный технический университет, (по состоянию на 2010 год патент не действует и не может быть восстановлен):



Фиг.1

Рис.35



Фиг.2

Рис.35

Установка (фиг.1) содержит турбодетандер 1, присоединенный к линии подачи газа высокого давления и находящийся на одном валу с электрогенератором 2, вихревую трубу 3, имеющую вход 4, который подсоединен к линии высокого давления, выход горячего потока газа 5 из вихревой трубы 3, соединенный с турбодетандером 1, и выход холодного

потока газа 6 из вихревой трубы 3, соединенный с линией низкого давления за турбодетандером 1, холодильную камеру 7, которая соединена с турбодетандером 1 линией низкого давления через установленный между ними сепаратор 8. На фиг.2 показана схема обогрева рабочих поверхностей ступени турбодетандера 1. Эта ступень состоит из соплового аппарата 9 и лопатки рабочего колеса 10. Выход горячего потока газа 6 вихревой трубы 3 соединен с коллектором 11 соплового аппарата 9 и с лопатками рабочего колеса 10, внутри которых проделаны каналы 12.

Работа установки осуществляется следующим образом. Природный газ из линии высокого давления поступает в турбодетандер 1, где происходит его расширение с понижением температуры. При этом потенциальная энергия давления газа преобразуют в механическую работу на валу турбодетандера 1, которую в свою очередь трансформируют в электрическую энергию в электрогенераторе 2. В потоке газа происходит конденсация паров воды и высококипящих компонентов, выпадение твердых частиц - гидратов, которые могут привести к обледенению рабочих поверхностей турбодетандера 1 и засорению теплообменников холодильной камеры 7. Для предотвращения этого обогревают рабочие поверхности турбодетандера 1 и устанавливают между турбодетандером 1 и холодильной камерой 7 сепаратор 8 для улавливания сконденсировавшийся жидкости и твердых частиц. Повышение температуры газа, необходимое для обогрева рабочих поверхностей турбодетандера 1, осуществляют в вихревой трубе 3, в которую направляют часть природного газа из линии высокого давления. В вихревой трубе поток разделяют на холодную и горячую части. Температура горячей части получается достаточно высокой и составляет около 50...75°C [Мартынов А.В., Бродянский В.А. Что такое вихревая труба? М.: Энергия, 1976, стр.3]. Эту часть потока направляют на обогрев рабочих поверхностей турбодетандера 1, схема которого показана на фиг.2. Схема обогрева соплового аппарата 9 и лопаток рабочего колеса 10 выполнена по аналогии со схемами охлаждения камер сгорания жидкостного ракетного двигателя [Добровольский М.В. Жидкостные ракетные двигатели. - М.: Машиностроение, 1968. - с. 117, 118] и лопаток высокотемпературных газовых турбин авиационных ГТД [Крюков А.И. Некоторые вопросы проектирования ГТД: Учебное пособие. - М.: Изд-во МАИ, 1993. - с.85, 86] соответственно. Горячий газ поступает в коллектор 11, а из него в обогреваемый тракт, выполненный в виде каналов 12 в сопловом аппарате 9. Проходя по каналам 12, газ обогревает стенки соплового аппарата 9 и при этом охлаждается сам. Для возможности обогрева лопаток рабочего колеса 10 в них проделаны вертикальные каналы 12, в которые снизу подают горячий газ, который, пройдя по каналу 12, выходит вверх и смешивается с остальным газом. Уровень температуры холодной части потока около 0°C, поэтому он смешивается с остальным потоком природного газа за турбодетандером 1. Далее природный газ поступает в сепаратор 8, в котором происходит отделение гидратов и конденсата. Затем очищенный природный газ направляют в холодильную камеру 7.

Предлагаемая схема турбодетандерной установки позволяет наиболее полно использовать потенциальную энергию давления газа магистральных трубопроводов, которая в данное время рассеивается на газораспределительных станциях (ГРС) и пунктах (ГРП) при редуцировании давления газа от величины магистрального уровня до уровня, необходимого потребителю.

2.2.17. Патент (№ 2223533) Тульский государственный университет (по состоянию на 2010 год патент не действует и не может быть восстановлен):

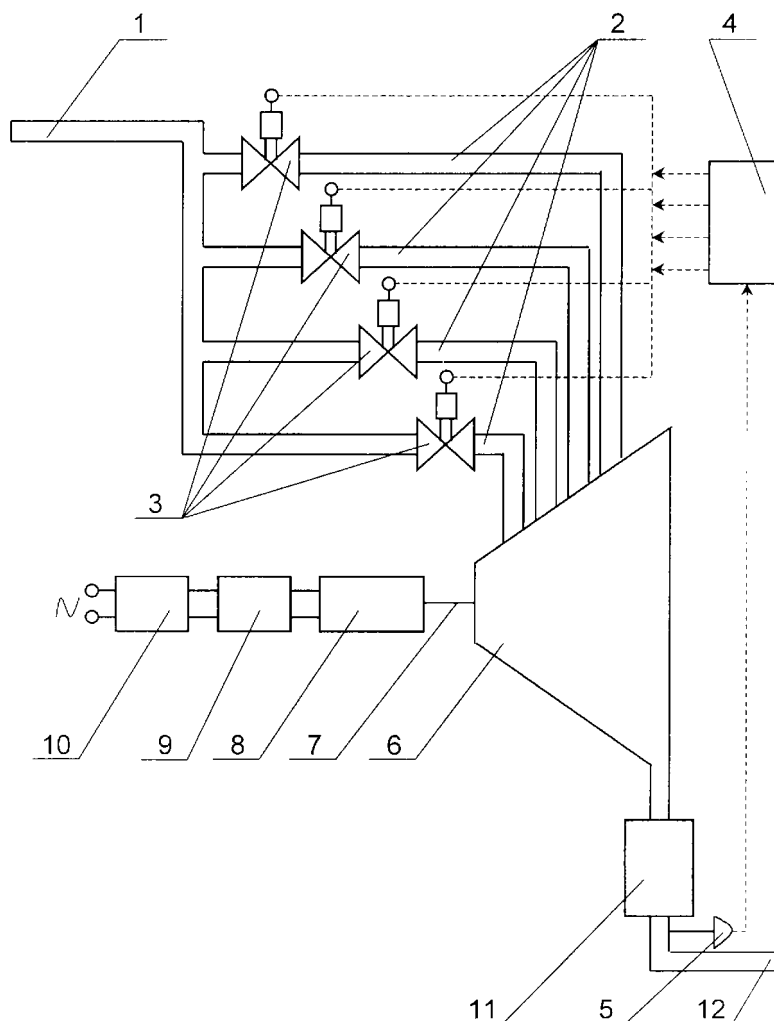


Рис.36

ГРС содержит входную магистраль 1, питающую газораспределительное устройство, выполненное в виде набора труб 2 различного диаметра с установленными на них запорными устройствами 3, управляемыми контроллером 4 от датчика давления 5. Трубы 2 связаны с группами сопел нерегулируемого турбодетандера 6, нагруженного посредством вала 7 генератором переменного тока 8, соединенным последовательно с регулируемым по напряжению выпрямителем 9 и регулируемым по частоте инвертором 10. Выход турбодетандера 6 через

регулируемый теплообменник-холодильник 11 связан с выходной магистралью 12.

Газ высокого давления из входной магистрали 1 поступает через трубы 2 с открытыми запорными элементами 3 к соплам нерегулируемой турбодетандера 6. Проходя через турбодетандер, газ совершает работу по приводу вала 7 и связанного с ним генератора переменного тока 8. Переменный ток с выхода генератора 8 поступает на регулируемый выпрямитель 9, который выдает постоянный ток заданного стабилизированного напряжения. Этот ток подается на инвертор 10, преобразующий его в переменный стабилизированный заданной частоты. Совершивший работу расширения в турбодетандере 6 газ, имея в результате этого пониженное давление и температуру, поступает в теплообменник-холодильник 11, где тепло, температурный уровень которого $-20 - -30^{\circ}\text{C}$, может быть полезно использовано в каких-либо других технологических линиях. Теплообменник может регулироваться по температуре за счет сброса части холодного газа по байпасному трубопроводу, минуя теплообменник. Прошедший теплообменник газ поступает через выходную магистраль 12 к потребителю. При этом давление газа измеряется датчиком 5 и, если его значение оказывается отличным от заданного, то в соответствии с программой, заложенной в контроллер 4, происходит переключение запорных элементов 3 на трубах 2 и расход газа, поступающего на детандер 6, изменяется таким образом, что давление газа на его выходе и соответственно на входе в магистраль 12 достигает требуемого значения. При этом число оборотов вала детандера 7 также изменяется, но в связи с использованием регулируемого по напряжению выпрямителя 9 и соединенного с ним регулируемого по частоте инвертора 10 напряжение и частота выработанного тока останутся неизменными. Таким образом, при изменении давления во входной магистрали 1, расхода газа потребителем через выходную магистраль 12 или каких-либо других возмущающих воздействий давление газа в выходной магистрали 12 будет стабилизировано с требуемой точностью, а изменение числа оборотов детандера 6 не приведет к изменению напряжения и частоты вырабатываемого тока.

2.2.18. Полезная модель (№ 81767) Саратовского государственного технического университета (патент действует):

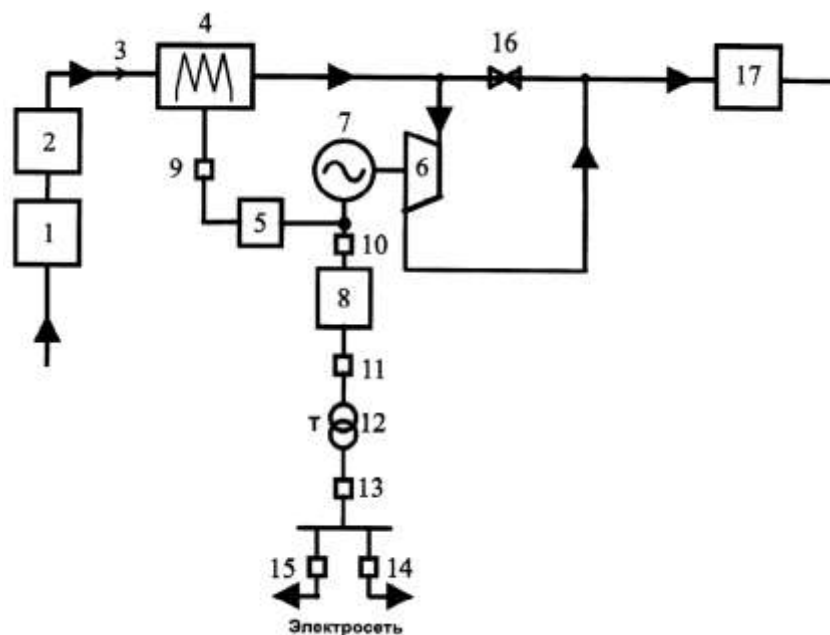


Рис.37

Газораспределительная станция с электрогенерирующим устройством содержит входной трубопровод 1 высокого давления газа и выходной трубопровод 2 низкого давления газа, блок редуцирования, подогреватель газа 3 с регулятором напряжения 4, преобразователь частоты 5, силовой трансформатор 6. Регулятор напряжения 4 выполнен в виде управляемого выпрямителя. В качестве подогревателя газа 3 использован электроподогреватель. Фильтр газа 7 и счетчик газа 8 соединены последовательно и включены в трубопровод 1 высокого давления газа. Блок редуцирования выполнен в виде высокоскоростных детандера 9 и электрогенератора 10, расположенных на едином валу. Вход детандера 9 подключен к трубопроводу 1 высокого давления газа, а выход - к трубопроводу 2 низкого давления газа. На входе в детандер 9 установлен регулируемый клапан 11. Датчик 12 температуры газа, датчик 13 давления газа, датчик 14 скорости потока газа и датчик 15 влажности газа установлены на входе в детандер 9. На выходе детандера 9 установлены датчик 16 температуры газа и датчик 17 давления газа. Выходы датчиков 12-17 соединены с входами микропроцессорного устройства 18, выход которого подключен к управляющему входу регулятора напряжения 4.

Выход электрогенератора 10 соединен с входом преобразователя частоты 5 и через регулятор напряжения 4 с подогревателем газа 3. Выход преобразователя частоты 5 соединен с первичной обмоткой силового трансформатора 6.

Байпасная газораспределительная станция 19 представляет собой стандартную ГРС, которая включается в работу при отказе детандера 9, т.е. выполняет функцию резервного газораспределительного устройства.

Основными технологическими задачами газораспределительной станции с электрогенерирующим устройством являются: снижение давления

магистрального газа и попутное получение полезной электроэнергии. Предложенное схемотехническое решение может быть применено на всех существующих ГРС. При существующей системе газоснабжения давление магистрального газа перед подачей его потребителю снижается в двух ступенях. В первой из них на ГРС давление газа снижается до 1,0...1,5 МПа, во второй на газораспределительных пунктах (ГРП) - до 0,1...0,3 МПа. При расходе газа через установку 30-50 тыс. $\text{м}^3/\text{ч}$ и перепаде давлений в детандере 9 от 7,0 до 1,2 МПа может быть полезно использовано 2-2,5 МВт электрической мощности. Установка работает без выбросов вредных веществ в окружающую среду.

Газораспределительная станция с электрогенерирующим устройством работает следующим образом.

Газ по входному трубопроводу 1 высокого давления поступает на вход фильтра газа 7, где он очищается от мелких механических примесей и влаги. С выхода фильтра 7 газ поступает через счетчик газа 8 на теплообменник электроподогревателя 3, где газ подогревается до температуры 30-70°C. После подогрева до нужной температуры газ через регулируемый клапан 11, проходя по датчикам температуры 12, давления 13, скорости потока газа 14 и влажности газа 15, поступает в детандер 9. Затем, минуя байпасную газораспределительную станцию 19, поступает в трубопровод 2 низкого давления газа.

Детандер 9 представляет собой тепловую машину, рабочим телом в которой является транспортируемый природный газ. Энергия природного газа при его расширении в детандере 9 преобразуется в механическую энергию вращения его вала, которая затем, в соединенном с детандером 9 электрогенераторе 10, преобразуется в электрическую энергию. Часть электрической энергии от генератора 10 поступает через регулятор напряжения 4 на электроподогреватель газа 3, где используется для подогрева транспортируемого газа. Детандер 9 и электрогенератор 10 образуют электрогенерирующую часть ГРС. Детандер-генераторный агрегат, состоящий из детандера 9 и электрогенератора 10, выполнен без редуктора по схеме «единый вал». При этом частота генерируемого напряжения определяется скоростью вращения общего вала детандер-генераторного агрегата. Так, при скорости вращения детандера в 12000 об/мин частота генерируемого напряжения будет равна 200 Гц. Это напряжение подается на регулятор напряжения 4 электроподогревателя газа 3 и на вход преобразователя частоты 5, выполненного по схеме многоступенчатого инвертора «с явным звеном постоянного тока».

С выхода преобразователя частоты 5 напряжение частотой 50 Гц поступает на первичную обмотку силового трансформатора 6, со вторичной обмотки которого подается внешним потребителям электроэнергии. Газ с выхода детандера 9 после расширения и совершения им работы поступает в трубопровод 2 низкого давления газа. Датчики температур 12 и 16 измеряют температуру газа на входе и выходе из детандера 9.

Датчики давления 13 и 17 измеряют давление газа на входе и выходе из детандера 9. Датчик 14 скорости потока газа и датчик 15 влажности газа измеряют, соответственно, скорость поток газа и влажность газа на входе в детандер 9. Сигналы с датчиков 12 и 16 температуры газа, датчиков 13 и 17 давления газа, датчика 14 скорости потока газа и датчика 15 влажности газа поступают в микропроцессорное устройство 18. На основании полученной информации и заложенной программы ее обработки микропроцессорное устройство 18 вырабатывает управляющий сигнал, который подается на управляющий вход регулятора напряжения 4. При поступлении на вход ГРС газа с более высокой температурой или при уменьшении расхода газа количество электроэнергии, подаваемое на электроподогреватель газа 3, уменьшается. Таким образом, на подогрев газа расходуется минимально необходимое количество электроэнергии, а весь остаток выработанной электроэнергии передается во внешнюю электросеть потребителям, тем самым, повышая экономическую эффективность работы ГРС.

Расход электроэнергии на подогрев газа не превышает 20-25% от общего количества вырабатываемой электрогенератором 10 электроэнергии.

Основным преимуществом предложенной ГРС с электрогенерирующим устройством является то, что в ней максимально используется энергия газа высокого давления для выработки электроэнергии и подогрева газа. В связи с тем, что в составе ГРС с электрогенерирующим устройством используется преобразователь частоты 5, то сняты ограничения по скорости и стабильности вращения общего вала детандер-генераторного агрегата, т.е. в этом случае нет необходимости строго выдерживать постоянство скорости вращения турбины детандера 9. Поэтому при изменении расхода газа через турбину и колебаниях давления газа в трубопроводе 1 высокого давления газа и трубопроводе 2 низкого давления газа скорость вращения вала детандера 9 будет изменяться, но это не повлияет на параметры генерируемого напряжения. Частота генерируемого напряжения и его стабильность определяются настройками преобразователя частоты 5, выполненного по схеме многофазного инвертора «с явным звеном постоянного тока».

Предложенное техническое решение позволяет выполнить детандер-генераторный агрегат без редуктора. За счет высокой скорости вращения турбины детандера 9 и, соответственно, электрогенератора 10, они имеют уменьшенные габариты и массу. Наличие преобразователя частоты 5 позволяет иметь гостированные параметры генерируемой электроэнергии и максимально просто решать вопросы синхронизации напряжения преобразователя частоты 5 и энергосистемы при подключении к энергосистеме.

2.2.19. Патент (№ 2079771) ЗАО «ПСП-ИНСЕРВ» (по состоянию на 2010 год патент не действует и не может быть восстановлен):

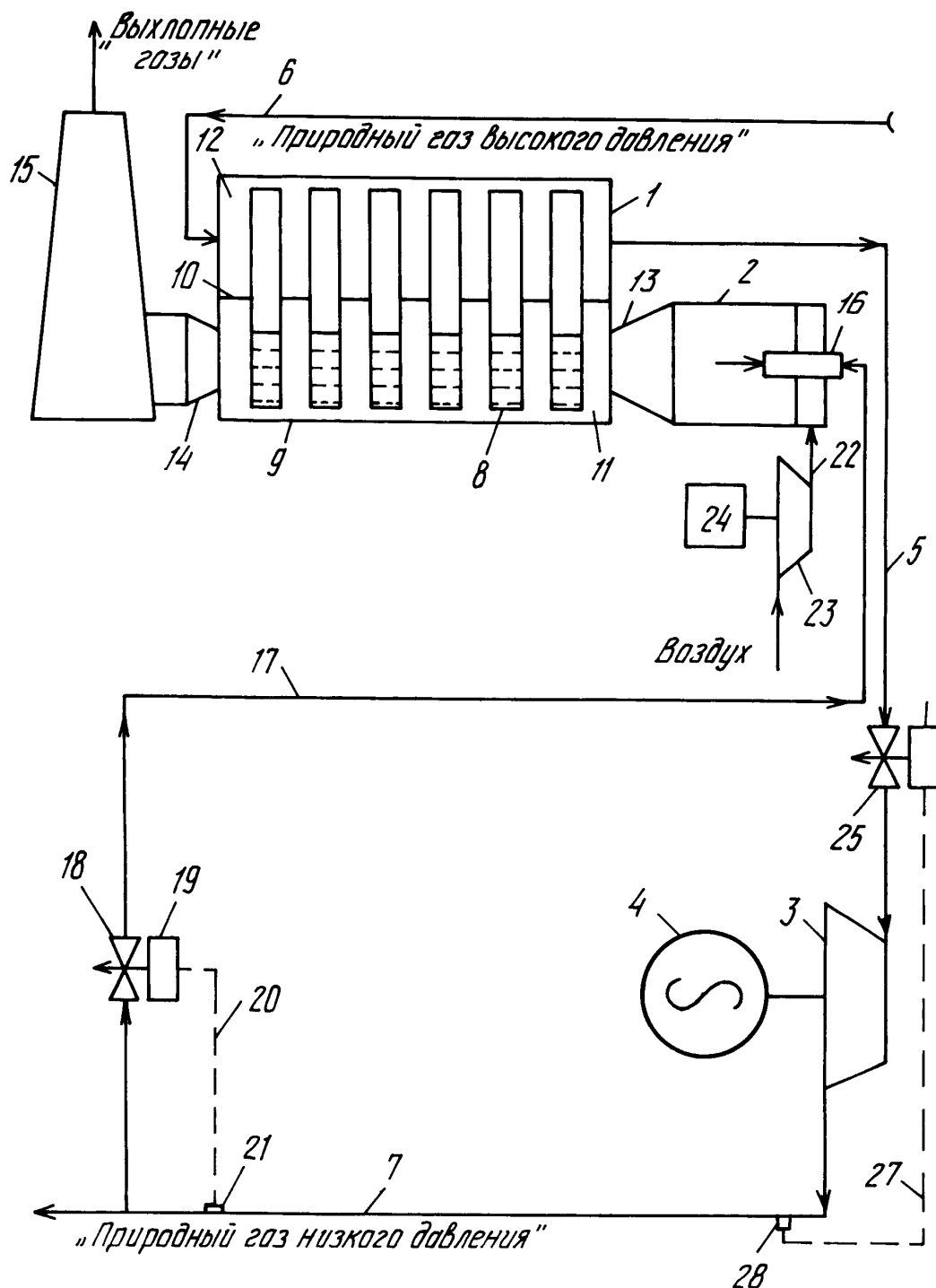


Рис.38

Установка содержит подогреватель газа 1 с топкой 2 и турбину 3, связанную с потребителем 4 ее мощности, например, генератором электрического тока, последовательно установленные по ходу газа в трубопроводе 5, соединяющем между собой газопроводы 6 и 7, соответственно высокого и низкого давлений.

Теплообменная поверхность подогревателя 1 выполнена из тепловых труб 8 (двухфазных термосифонов ДТС), а его корпус 9 разделен горизонтальной герметичной перегородкой 10 на две полости 11 и 12, причем в нижней полости 11 размещены зоны испарения тепловых труб 8,

ее входной патрубок 13 подключен к топке 2, а выходной 14 к дымовой трубе 15, при этом зоны конденсации тепловых труб 8 расположены в верхней полости 12 теплообменника 1, которая встроена в трубопровод 5. Тепловые трубы 8 заполнены на треть своей высоты (т. е. в зоне испарения) промежуточным теплоносителем, например, смесью воды с этиленгликолем (последний необходим для предотвращения разрыва трубы 8 в зимнее время года при неработающей установке). Топка 2 снабжена горелкой 16, подключенной к газопроводу 7 трубопроводом 17 с регулирующим клапаном 18, связанным с регулятором 19, соединенным импульсной линией 20 с датчиком 21 температуры, размещенным в газопроводе 7. Кроме того, к топке 2 воздухопроводом 22 подключен вентилятор 23 с приводом 24, например, электродвигателем. Регулирующий клапан 25 турбины 3 связан с регулятором 26, соединенным импульсной линией 27 с датчиком 28 давления, размещенным в газопроводе 7.

Установка работает следующим образом.

Природный газ высокого давления (обычно 35-75 кгс/см²) от компрессорной станции (на чертеже не показана) поступает по газопроводу 6 в трубопровод 5, проходит его и последовательно расположенные в нем полость 12 подогревателя 1, турбину 3 и далее по газопроводу 7 поступает к потребителям газа низкого давления (обычно 3-12 кгс/см²), например, доменной печи - на чертеже не показано. При этом газ во избежание образования в нем газгидратов подогревается до положительных температур (ок. 50С100С за турбиной 3). Указанный подогрев обеспечивается регулятором 19 подогревателя 1, который по управляющему сигналу, поступающему к нему по импульсной линии 20 от датчика температуры 21, осуществляет изменение степени открытия связанного с ним клапана 18 (а значит и расхода топливного газа, подаваемого по трубопроводу 17 на сжигание в горелке 16 топки 2): при увеличении температуры от заданного значения уменьшает ее, при снижении увеличивает. При этом образовавшиеся в результате сжигания в топке 2 топлива в смеси с воздухом, подаваемым в нее по воздухопроводу 22 вентилятором 23, приводимым во вращение электродвигателем 24, продукты сгорания через патрубок 13 направляются в полость 11 подогревателя 1, где отдают свое тепло, расположенным в ней зонам испарения тепловых труб 8, и далее через патрубок 14 и дымовую трубу 15 удаляются в атмосферу. Образовавшиеся в зонах испарения тепловых труб 8 (автономно в каждой) пары промежуточного теплоносителя поднимаются в зоны конденсации этих труб, расположенные в полости 12 подогревателя 1, отделенной от полости 11 герметичной перегородкой 10 его корпуса 9, где отдают свое тепло, проходящему через нее природному газу, охлаждаются и конденсируются на внутренних стенках труб 8. При этом образовавшийся конденсат под действием сил тяжести возвращается в зоны испарения труб 8 и процесс повторяется.

Требуемое потребителю значение давления газа в газопроводе 7 поддерживает регулятор 26, который по управляющему сигналу,

поступающему к нему по импульсной линии 27 от датчика давления 28 осуществляет изменение степени открытия связанного с ним клапана 25: при увеличении давления от заданного значения уменьшает ее, при снижении увеличивает.

Развиваемая турбиной 3 мощность передается связанному с ней потребителю 4. При этом в случае использования в качестве такового генератора тока, частота вращения последнего, а значит и частота тока поддерживается электрической сетью, к которой он подключен (на чертеже не показано), для чего ее мощность должна существенно (в 10 и более раз) превышать мощность генератора, что обычно для утилизационных установок такого типа. В противном случае требуется наличие тиристорного преобразователя частоты тока или планетарного редуктора постоянной частоты вращения.

2.2.20. Патент (№ 2073169) ЗАО «ПСП-ИНСЕРВ» (по состоянию на 2010 год патент не действует и не может быть восстановлен):

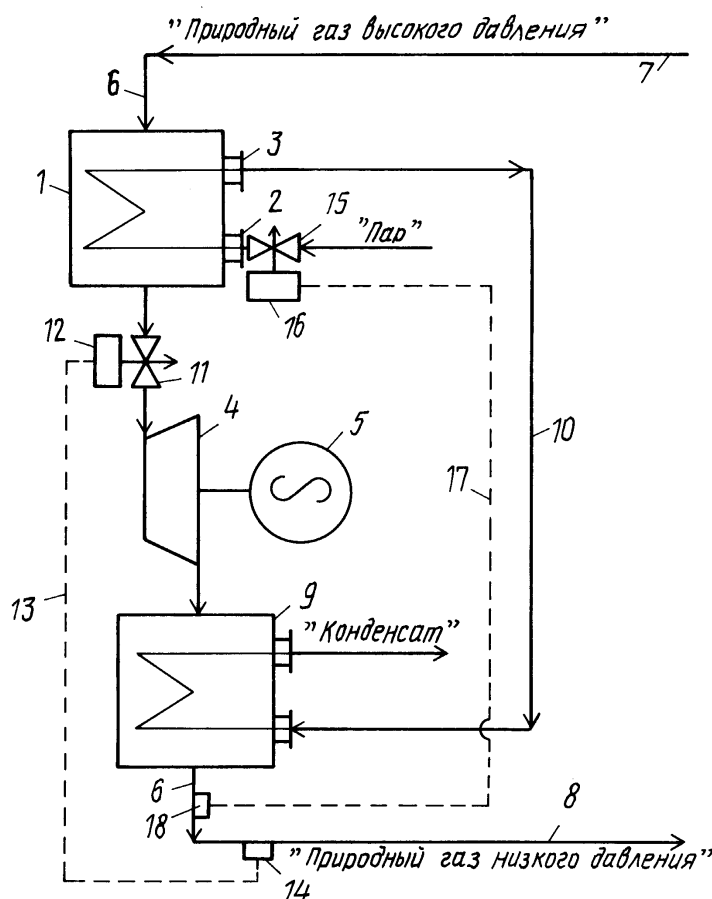


Рис.39

Установка содержит подогреватель газа 1, выполненный с патрубками 2 и 3, соответственно подвода пара и отвода конденсата, и турбину 4, связанную с потребителем 5 ее мощности, например, генератором электрического тока, последовательно установленные по ходу газа в трубопроводе 6, соединяющем между собой газопроводы 7 и 8

соответственно высокого и низкого давлений. Кроме того, установка снабжена дополнительным подогревателем газа 9, размещенным в трубопроводе 6 за турбиной 4 и подключенным по греющей среде трубопроводом 10 к патрубку 3 отвода конденсата парового подогревателя газа 1. Регулирующий клапан 11 турбины 4 связан с регулятором 12, соединенным импульсной линией 13 с датчиком 14 давления, размещенным в газопроводе 8, а паровой регулирующий клапан 15 подогревателя 1 связан с регулятором 16, соединенным импульсной линией 17 с датчиком температуры 18, размещенным в газопроводе 6 за подогревателем 9.

Установка работает следующим образом.

Природный газ высокого давления (обычно 35-75 кгс/см²) от компрессорной станции (на чертеже не показана) поступает по газопроводу 7 в газопровод 6, проходит его и последовательно расположенные в нем подогреватель 1, турбину 4, подогреватель 1, турбину 4, подогреватель 9 и далее по газопроводу 8 поступает к потребителям газа низкого давления (обычно 3-12 кгс/см²), например котлам ТЭЦ на чертеже не показано. При этом газ во избежание образования в нем газгидратов подогревается до положительных температур подогревателями 1 и 9: в подогревателе 1 до величины, обеспечивающей достижение температуры газа после его расширения в турбине 4 значений ок.-10-0оС (допустимых по условиям отсутствия выпадения газогидратов), а в подогревателе 9 до величины ок.5-10оС, гарантирующей отсутствие газгидратов даже при условии дальнейшего охлаждения газа в зимних условиях при его перемещении к потребителю по теплоизолированному газопроводу 8. Указанный подогрев обеспечивается регулятором 16 подогревателя 1, который по управляющему сигналу, поступающему к нему по импульсной линии 17 от датчика температуры 18, осуществляет изменение степени открытия связанного с ним клапана 15 (а значит, и расхода пара в подогреватель 1 через патрубок 2): при увеличении температуры от заданного значения уменьшает ее, при снижении - увеличивает. При этом соответственно изменяется расход конденсата через патрубок 3 и трубопровод 10 в подогреватель 9.

Требуемое потребителю значение давления газа в газопроводе 8 поддерживает регулятор 12, который по управляющему сигналу, поступающему к нему по импульсной линии 13 от датчика давления 14, осуществляет изменение степени открытия, связанного с ним клапана 11: при увеличении давления от заданного значения уменьшает ее, при снижении увеличивает.

Развиваемая турбиной 4 мощность передается связанному с ней потребителю 5. При этом в случае использования в качестве такового генератора тока частота вращения последнего, а значит, и частота тока поддерживается электрической сетью, к которой он подключен (на чертеже не показано), для чего ее мощностью должна существенно (в 10 и более раз) превышать мощность генератора, что обычно для утилизационных установок такого типа. В противном случае требуется наличие тиристорного

преобразователя частоты тока или планетарного редуктора постоянной частоты вращения.

2.3. Документы, защищающие конструкции турбодетандеров, используемых на ГРС

2.3.1. Действующий патент (№2317430) Федеральное государственное унитарное предприятие "Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова"

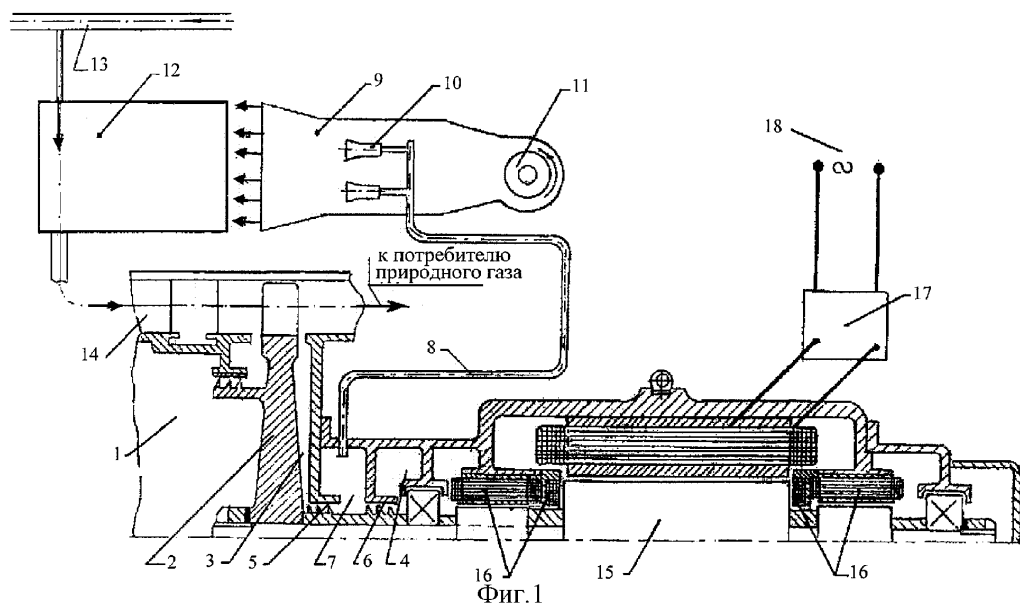


Рис.40

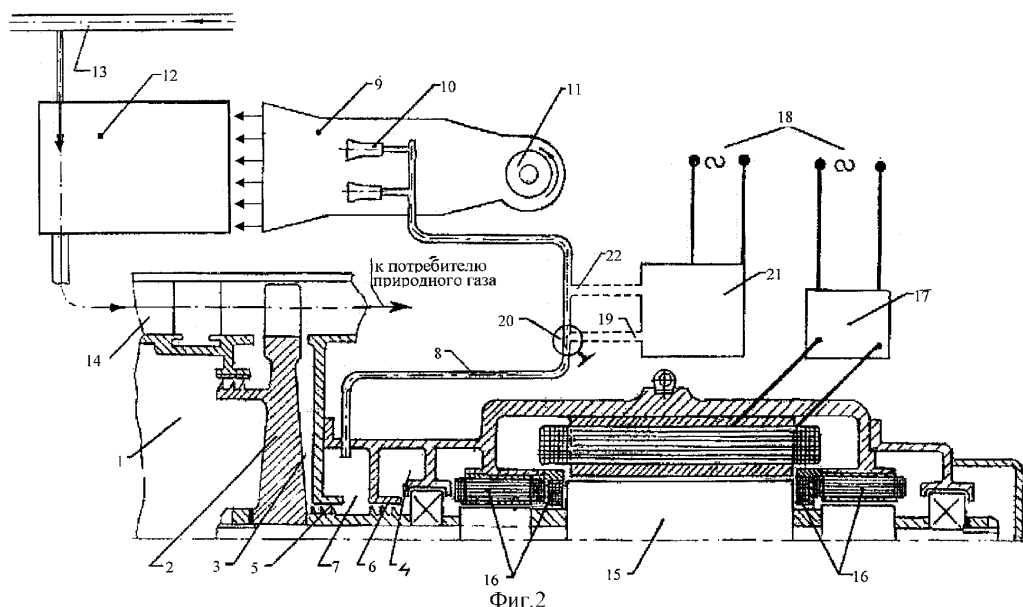


Рис.41

Турбодетандерная установка на фиг.1-2 включает турбодетандер 1, рабочее колесо 2, камеру высокого давления 3, камеру низкого давления 4, бесконтактное уплотнение 5, бесконтактное уплотнение 6, накопительную

камеру 7, магистраль отвода газовойдушной смеси 8, эжекторную трубу 9, форсунки 10, вентилятор 11, теплообменник 12, магистраль природного газа 13, проточную часть 14, ротор 15 электрогенератора, магнитные (или воздушные, в которых между роторной и статорной частью организован поток сжатого воздуха) подшипники 16 ротора 15 электрогенератора, преобразователь частоты 17, потребитель электроэнергии 18, магистраль 19, регулировочный орган 20, топливный элемент 21, газовод 22.

Турбодетандерная установка, представленная на фиг.1, работает следующим образом.

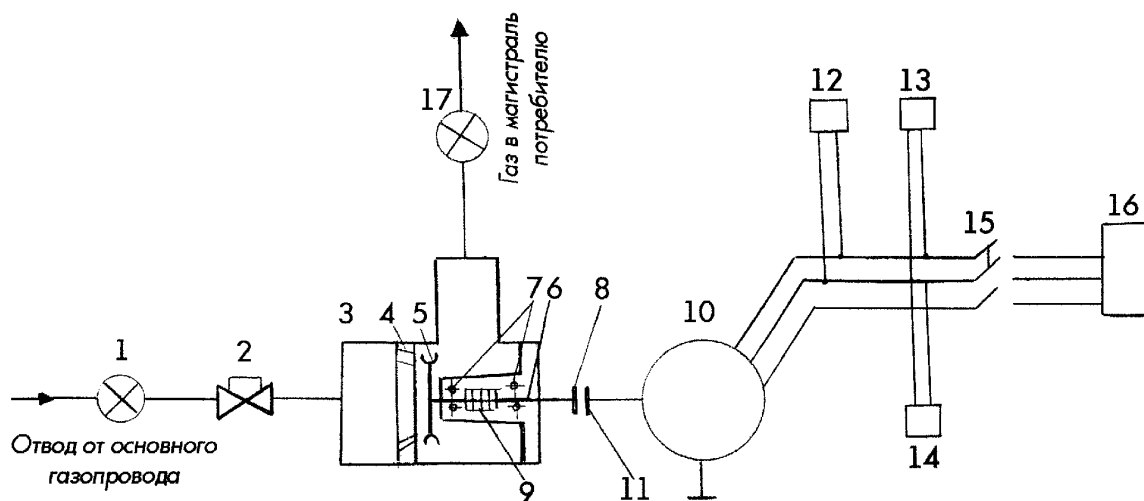
Включается вентилятор 11 и поток воздуха создает разрежение на форсунках 10, расположенных в эжекторной трубе 9. После не менее 3 с подается природный газ в проточную часть 14 турбодетандера 1, откуда его небольшая часть (утечка) перетекает в камеру высокого давления 3. Из камеры 3 через бесконтактное уплотнение 5 природный газ поступает в накопительную камеру 7, где смешивается с воздухом, поступившим в накопительную камеру 7 из камеры низкого давления 4 через бесконтактное уплотнение 6. Давление газовойдушной смеси в накопительной камере 7 меньше атмосферного на величину не менее 3-5 кПа. Из накопительной камеры 7 газовойдушная смесь по магистрали 8 поступает в форсунки 10. На выходе из форсунок 10 газовойдушная смесь воспламеняется и сгорает в потоке воздуха с выделением тепла, которое повышает температуру воздуха в эжекторной трубе 9. Выхлопной газ из эжекторной трубы 9 в теплообменнике 12 подогревает входящий в него из магистрали 13 природный газ. Подогретый природный газ поступает в проточную часть турбодетандера 14 и в рабочее колесо 2 турбины, где создается механическая работа, снимаемая ротором 15 электрогенератора, установленном на магнитных (или воздушных) подшипниках 16. Вырабатываемый электрический ток поступает в преобразователь частоты 17, где частота принимает стандартное значение, и электроэнергия направляется потребителю 18.

Турбодетандерная установка, представленная на фиг.2, работает следующим образом.

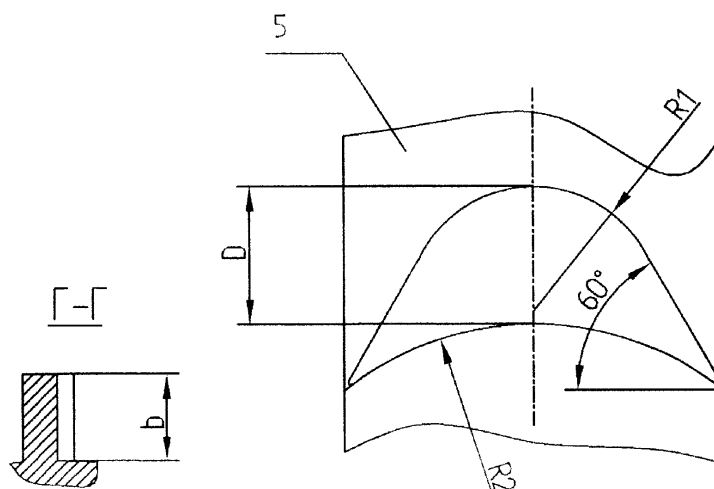
Включается вентилятор 11 и поток воздуха создает разрежение на форсунках 10, расположенных в эжекторной трубе 9. После не менее 3 с подается природный газ в проточную часть 14 турбодетандера 1, откуда его небольшая часть (утечка) перетекает в камеру высокого давления 3. Из камеры 3 через бесконтактное уплотнение 5 природный газ поступает в накопительную камеру 7, где смешивается с воздухом, поступившим в накопительную камеру 7 из камеры низкого давления 4 через бесконтактное уплотнение 6. Давление газовойдушной смеси в накопительной камере 7 меньше атмосферного на величину не менее 3-5 кПа. Из накопительной камеры 7 газовойдушная смесь по магистрали 8 поступает через регулировочный орган 20 и магистраль 19 в топливный элемент 21, где выделяется дополнительная электроэнергия, идущая потребителю 18, и далее через газовод 22 подается к форсункам 10. На выходе из форсунок 10

газовоздушная смесь воспламеняется и сгорает в потоке воздуха с выделением тепла, которое повышает температуру воздуха в эжекторной трубе 9. Выхлопной газ из эжекторной трубы 9 в теплообменнике 12 подогревает входящий в него из магистрали 13 природный газ. Подогретый природный газ поступает в проточную часть турбодетандера 14 и в рабочее колесо 2 турбины, где создается механическая работа, снимаемая ротором 15 электрогенератора, установленном на магнитных (или воздушных) подшипниках 16. Выработанный электрический ток поступает в преобразователь частоты 17, где частота принимает стандартное значение, и электроэнергия направляется потребителю 18.

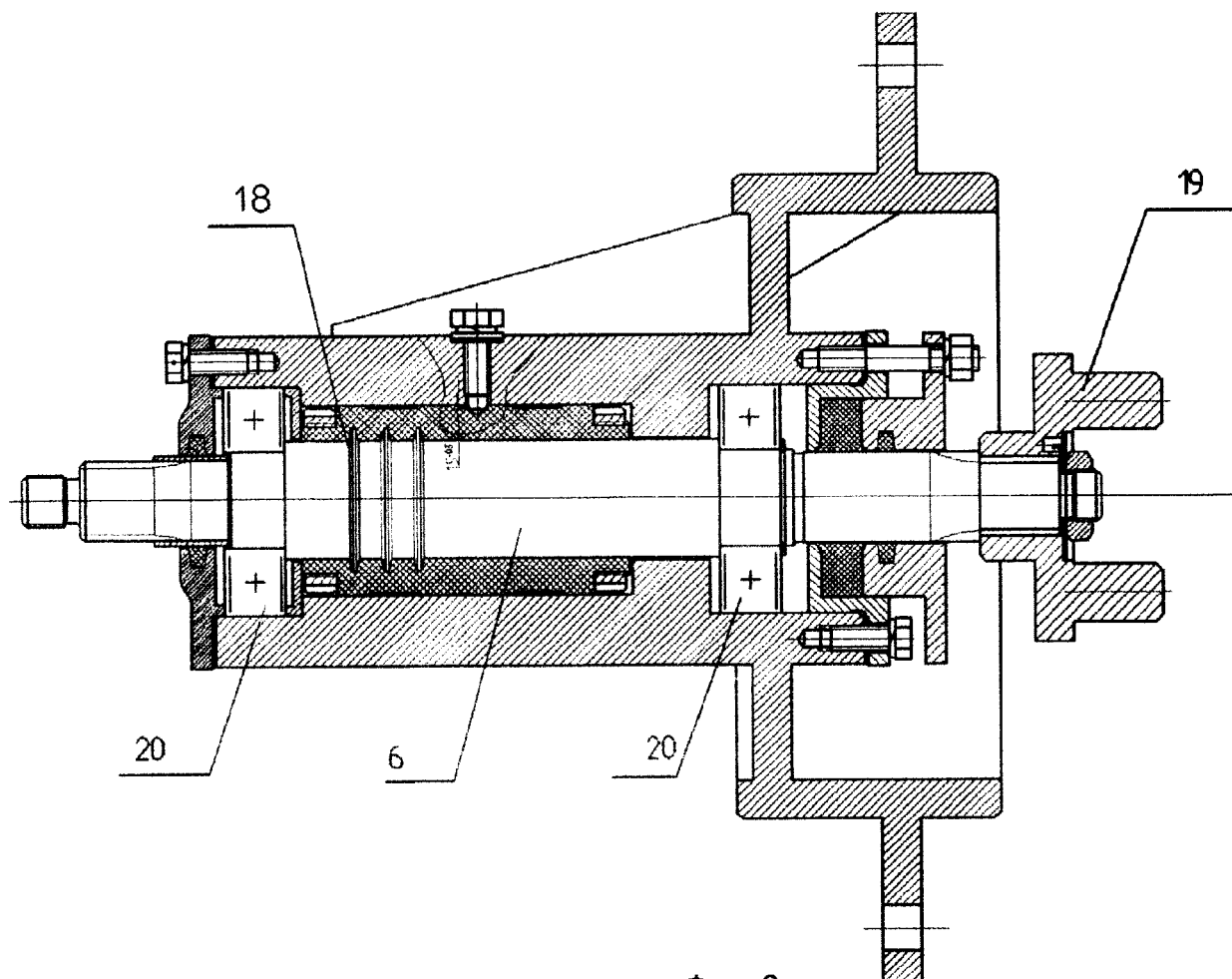
2.3.2. Патент (№ 2270395), патентообладатель - ЗАО "Газоснабжение" (по состоянию на 2010 год патент не действует, но может быть восстановлен):



Фиг. 1
Рис.42

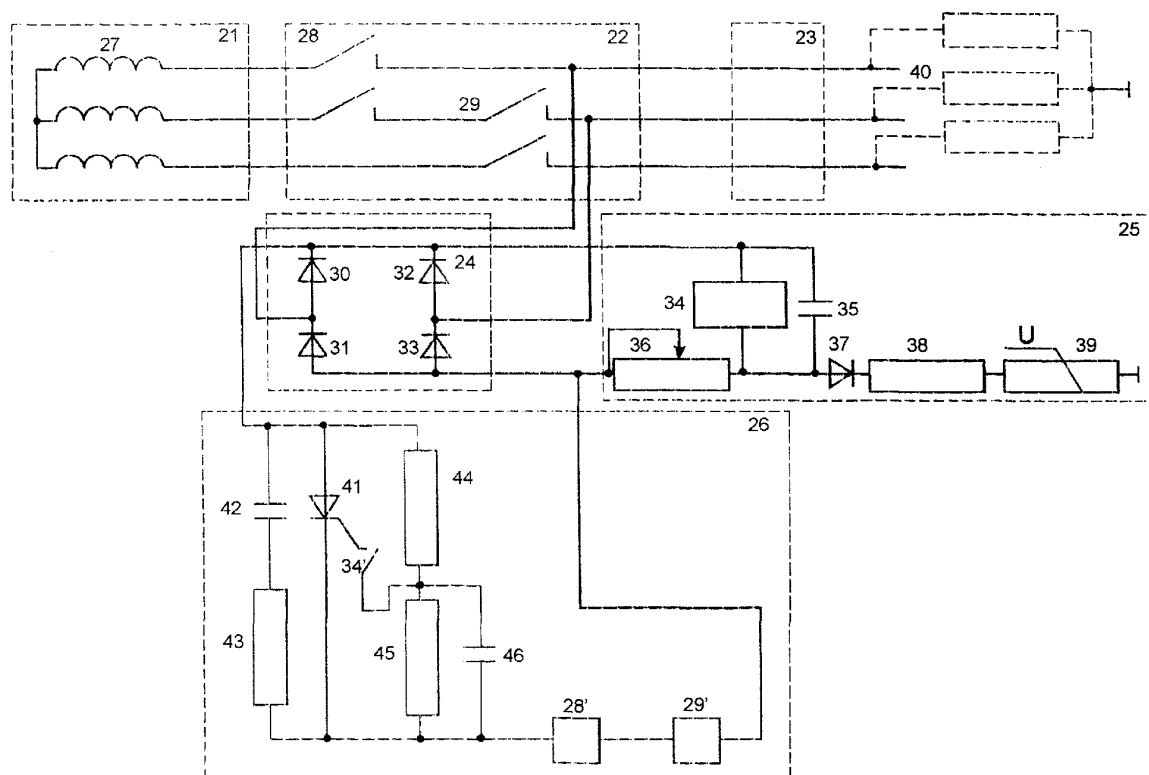


Фиг. 2
Рис.43



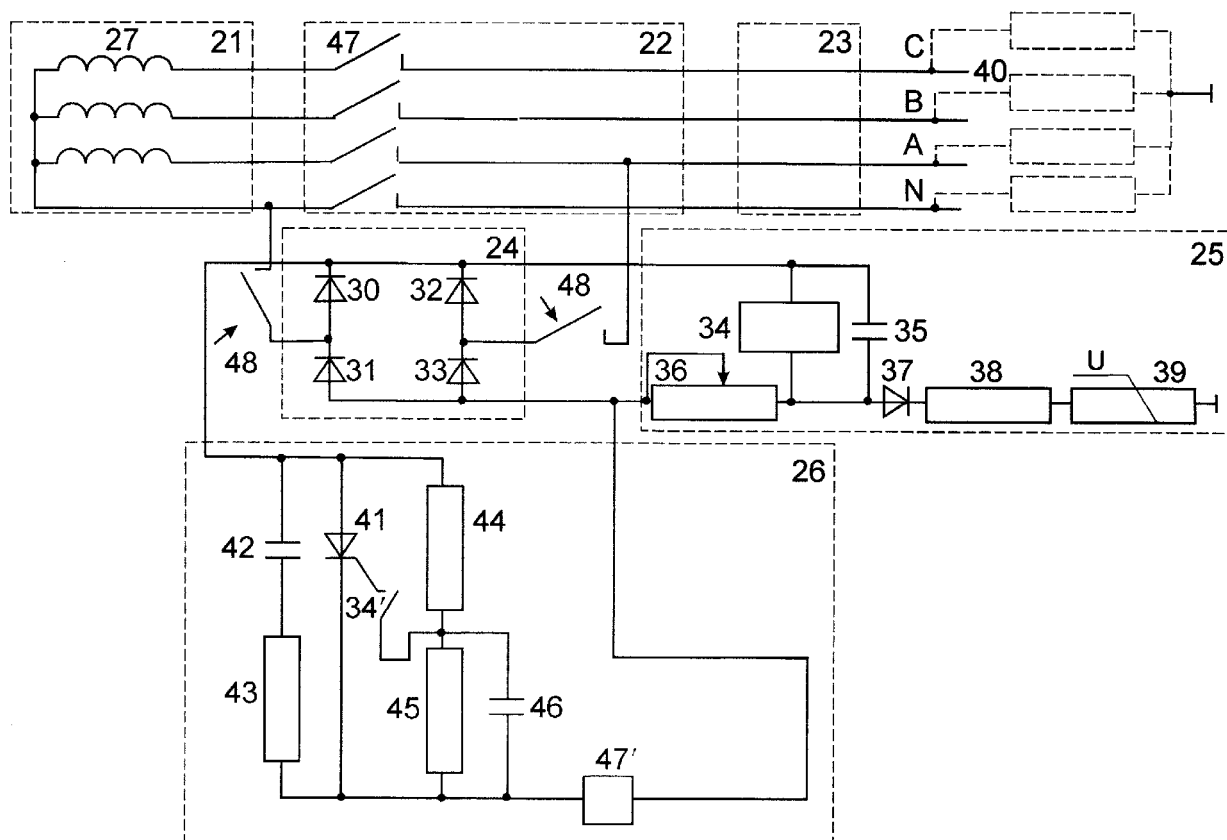
Фиг. 3

Рис.44



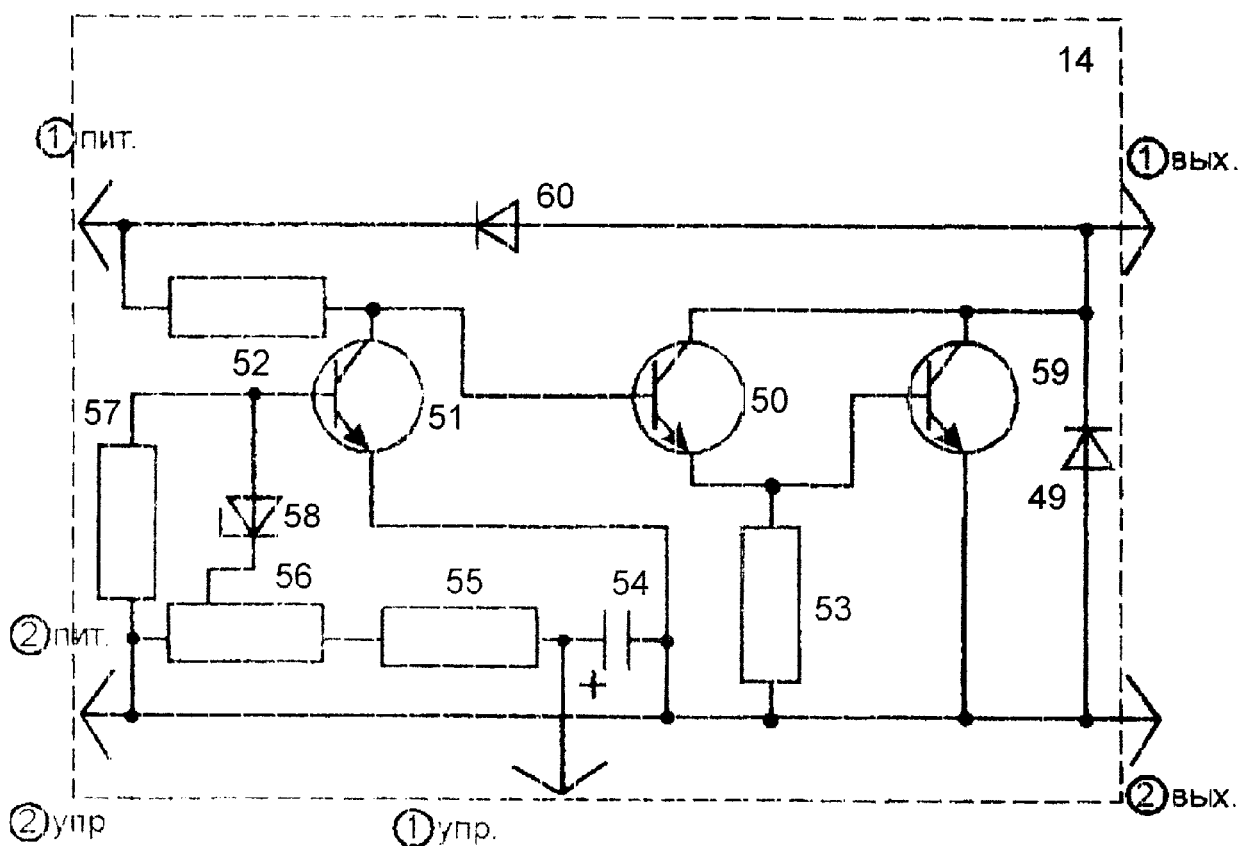
Фиг. 4

Рис.45



Фиг. 5

Рис.46



Фиг. 6

Рис.47

На фиг.1 представлена принципиальная схема предлагаемого устройства, оно содержит магистральный кран 1, расположенный на отводе от магистрального газопровода, связанный с регулятором давления 2, турбодетандер 3, подключенный входом к регулятору 2 и содержащий сопловой аппарат 4, рабочее колесо с лопатками специального профиля, например эвольвентными 5, упомянутое колесо 5 сидит на консольно расположенном валу 6, закрепленном на двух подшипниках 7, на конце вала расположена соединительная полумуфта 8, причем герметизация достигается за счет притирки сегментного самоуплотняющегося фторопластового или фосфитной бронзы лабиринтного уплотнения 9. К выходу синхронного генератора 10, вал которого соединен с полумуфтой 11, подключен узел 12 - контроля и защитного отключения при снижении сопротивления изоляции, блок нагрузки 13, узел, регулирующий уровень напряжения 14; через коммутирующее устройство 15 электроэнергия подается в нагрузку 16, через кран 17 газ направляется в магистраль потребителя.

Рабочий агент-газ, пройдя через кран 1, поступает в регулятор давления 2 для снижения давления до установленного уровня. Пройдя через неподвижный сопловой аппарат 4 турбодетандера 3 и каналы, образованные профильными лопатками рабочего колеса 5, струи газа воздействуют на эвольвентные лопатки и раскручивают рабочее колесо 5, сидящее на валу турбодетандера 3. При этом за счет расширения газа давление падает до расчетного в сети потребителя установленного требуемого уровня. Параметры рабочего колеса рассчитываются так, что при перепаде давления 0,1-0,2 МПа и расходе газа 0,5-0,8 кг/см на валу 6 турбодетандера 3, вращающемся с частотой сети, развивается установленная мощность. При этом генератор 10, вал которого соединен с валом турбодетандера упругой муфтой 11, вырабатывает переменный ток с промышленной частотой 50 Гц, напряжением 220-380 В и мощностью, обусловленной расчетными параметрами турбодетандера. Пройдя через турбодетандер 3, газ через кран 17 поступает в коллектор потребителя. При такой незначительной степени расширения температура газа практически не изменится, что подтверждается испытанием опытных образцов. На фиг.2 изображен рабочий профиль лопатки, где указаны переменные параметры, зависящие от мощности турбодетандера. Сегментное самоуплотняющееся лабиринтное уплотнение показано на фиг.3, где 18 - непосредственное уплотнение, 19 - соединительная муфта, 20 - шарикоподшипники. Взаимосвязь этих элементов между собой вытекает непосредственно из чертежа.

На фиг.4-5 изображены структурная и электрические схемы узла контроля и защитного отключения при снижении сопротивления изоляции 12. Узел 12 (фиг.4, элементы показаны пунктиром) содержит генератор сети 21 (может

быть расположен как в составе устройства, так и вне его), исполнительный орган 22, входом соединенный с генератором сети 21, выходом - с нагрузкой 23, кроме того, выход упомянутого исполнительного органа 22 соединен со входом выпрямителя 24, питающего как измерительную цепь 25, так и исполнительный элемент 26, причем выход измерительной цепи 25 подключен к одному из входов исполнительного элемента 26, выход которого подключен к управляющему входу исполнительного органа 22. На фиг.4 раскрыты также элементы структурной схемы.

Основная обмотка 27 генератора сети 21 (10), в трехфазном варианте, содержит три обмотки, соединенные "звездой", исполнительный орган 22 - с целью унификации - содержит два двухконтактных переключателя 28 и 29, включенных в три фазы сети, причем в одной из фаз включены 2 последовательно соединенных контакта (возможно использование одного трехконтактного или трех одноконтактных переключателей). Выпрямитель 24 представляет собой, например, мостовую схему выпрямления (схему Греча) на диодах 30-33, выход мостовой схемы подключен ко входу измерительной цепи, содержащей реле тока 34, шунтированное конденсатором 35, один вход цепи 25 подключен к одному из выходов выпрямителя 24, другой через регулируемый ограничительный резистор 36 - к другому выходу выпрямителя, к точке соединения элементов 34, 35, 36 последовательно включен выпрямительный диод 37, второй ограничительный резистор 38 и варистор 39, причем свободный (второй) вывод упомянутого варистора подключен к корпусу ("земле"). Сопротивление изоляции условно показано узлом 40.

Исполнительный элемент 26 содержит последовательно соединенный тиристор 41 и обмотки управления 28' и 29' исполнительным органом 22, управляющий электрод тиристора 41 через контакт 34' реле измерительной цепи 34 подключен к средней точке резистивного делителя 44, 45, нижнее плечо которого шунтировано конденсатором 46. Элементы 45 и 46 образуют RC-цепь.

Возможен вариант использования предложенного устройства как для сетей с изолированной нейтралью, так и с заземленной нейтралью.

Такой вариант представлен на фиг.5.

Здесь вместо силового контактора используется стандартное четырехконтактное устройство контроля изоляции (УЗО) 47 с заземленной нейтралью с управляющим элементом 47', включенным между точкой соединения конденсатора RC-цепи 45, 46 и одного из силовых электродов тиристора 41 и точкой соединения элементов 31, 33, 36. При этом полностью используются узлы 24, 25, 26. При этом узел 24 управляется переключателем 48. Узел 47 последовательно между узлами 21 и 23 в каждую из шин питания и нулевой провод - в диагональ мостового выпрямителя 24 (т.е. в точке соединения элементов 30, 31 и 32, 33 соответственно) с одной стороны и к любому из фазных проводов и нулевому с другой. Переключатель 48 содержит 2 замыкающих контакта.

Узел, изображенный на фиг.4, работает следующим образом. В нормальном режиме работы, т.е. при наличии сопротивления изоляции в пределах установленных норм, исполнительный орган 22 включен и нагрузка 23 питается от генератора 21. Выпрямитель 24 питает узлы 25 и 26.

В аварийных режимах при симметричном или несимметричном изменении сопротивления изоляции ниже установленных норм реакция воспринимается элементом 25, воздействует на элемент 26, который, воздействуя на исполнительный орган 22, отключает нагрузку 23 от генератора 21, т.е. напряжения сети.

В нормальном режиме работы элементы 28 и 29 узла 22 замкнуты и нагрузка питается от генератора 21. В этом режиме ток, протекающий по обмотке реле тока 34, недостаточен для включения этого реле, тиристор 41 находится в отключенном состоянии, контакты обмоток управления 28' и 29' разомкнуты и двухконтактные переключатели 28 и 29 находятся во включенном состоянии. Ток, протекающий по цепи из элементов 34, 37, 38, 39, в связи с наличием варистора 39 крайне незначителен и сопротивление этой цепи, как правило, превышает установленные отечественными и международными стандартами 1 МОм. Эквивалентное сопротивление изоляции можно представить в виде резисторов 40, соединенных в "звезду". В аварийном режиме, т.е. при уменьшении сопротивления изоляции ниже установленных норм, ток, протекающий по измерительной цепи из элементов 34, 37, 38, 39, включает реле 34, замыкается контакт 34', включается тиристор 41, получают питание обмотки 28' и 29' и элементы 28 и 29 отключают нагрузку от сети.

Узел, изображенный на фиг.5, работает следующим образом.

При разомкнутом положении переключателя 48 устройство работает как устройство с заземленной нейтралью. При этом используется так называемая пятипроводная схема, предусмотренная требованиями электробезопасности: 4 провода и заземленный защитный проводник.

В режиме с изолированной нейтралью переключатель 48 включен, контроль изоляции осуществляется предложенным устройством (при этом возможна замена 47' на резистор), нейтраль источника заземляется. Система пятипроводная: три фазы, рабочий N и заземляющий проводник. Последние два соединены между собой и с контуром заземления на источнике электропитания.

Схема узла контроля и регулировки уровня напряжения 14 изображена на фиг.6. Он представляет собой регулирующий узел с дискретной схемой управления и содержит регулирующий элемент на транзисторах, соединенных по схеме Дарлингтона, причем коллектор первого транзистора 49 подключен к первому выходу узла 14, эмиттер - к второму управляющему входу 2 и выходу 2 упомянутого узла, коллектор согласующего транзистора 51 подключен к базе второго транзистора 50 и второму ограничительному резистору 52, второй вывод которого подключен к первому входу питания упомянутого узла, эмиттер второго транзистора 50 подключен к базе первого транзистора 49 и к резистору начальных токов 53, второй вывод которого

подключен к выходу 2 узла 14, коллектор второго транзистора 50 подключен к коллектору первого транзистора 49 и выходу 1 упомянутого узла. Коллектор согласующего транзистора 51 подключен к базе второго транзистора 50 и к второму ограничительному резистору 52 одним выводом, второй вывод которого подключен к первому входу питания узла 14. Второй вход питания 2 и второй управляющий вход 2 соединены между собой.

Эмиттер согласующего транзистора 51 подключен ко второму входу питания и к одному из выводов конденсатора 54, второй вывод которого подключен к первому управляющему входу и третьему ограничительному резистору 55, подключенному к первому выводу переменного резистора 56, второй вывод которого подключен к второму управляющему входу и к четвертому ограничительному резистору 57, второй вывод которого подключен к базе согласующего транзистора 51 и аноду стабилитрона 58, катод которого подключен к регулируемому выводу резистора 56. Параллельно между коллектором и эмиттером первого транзистора 49 включен ограничительный диод 59, анодом к эмиттеру упомянутого транзистора, катодом - к его коллектору, а между первым входом питания и первым выходом узла 14 включен второй ограничительный диод 60 анодом к первому выходу, катодом - к первому входу питания узла 14.

Входы и выходы узла 14 обозначены и подключены следующим образом: 1вых и 2вых подключены к резистивному делителю напряжения, содержащего последовательно включенный переменный - для регулировки - и постоянный резисторы, свободные выводы которых подключены к обмотке возбуждения ротора генератора (на чертеже не показаны); 1пит и 2пит - к выходу мостового, например трехфазного выпрямителя, вход которого подключен к дополнительным обмоткам статора; 1упр и 2упр - к положительному и отрицательному выводам выходного силового выпрямителя, вход которого подключен к основным обмоткам статора генератора. Генератор может быть выполнен как в однофазном, так и трехфазном вариантах. Во втором случае основные и дополнительные обмотки статора соединены в "звезду" и выпрямители - трехфазные.

Устройство, изображенное на фиг.6, работает следующим образом. Начальное самовозбуждение источник получает за счет остаточной намагниченности и постоянных магнитов, находящихся в роторе 10, ЭДС наводится в трехфазных обмотках статора (на чертеже не показаны). ЭДС дополнительной обмотки выпрямляется вторым трехфазным выпрямителем (на чертеже не указаны), прикладывается к обмотке возбуждения ротора (на чертеже не указаны).

Таким образом, начальное возбуждение реализуется при протекании тока через резисторы выходного делителя (на чертеже не указаны) начального возбуждения и обеспечения режима холостого хода, напряжение на основной обмотке статора возрастает и достигает номинального значения, определяемого величиной уставки резистора упомянутого выше делителя.

При включении нагрузки на источник к зажимам выхода выпрямителя, питающегося от основной обмотки, выходное напряжение уменьшается,

также уменьшается величина сигнала обратной связи, в работу включается дискретная схема управления регулирующего узла 14, которая пропорционально величине изменения выходного напряжения в обратной зависимости изменяет ток возбуждения через обмотку возбуждения ротора, поддерживая тем самым постоянство выходного напряжения при изменении нагрузки. Жесткость внешней характеристики источника можно менять, изменяя на регулирующем элементе узла 6 глубину обратной связи. Когда нагрузка уменьшается, устройство переходит в режим холостого хода и напряжение на выходе обретает величину, заданную величиной уставки сопротивления резистора начального возбуждения и обеспечения режима холостого хода.

Узел 14 работает следующим образом. Он представляет собой регулятор, выполняющий одновременно две функции: с одной стороны, он обеспечивает изменение уровня напряжения, задаваемого первоначально величиной сопротивления переменного резистора начального возбуждения и обеспечения режима холостого хода резистивного делителя напряжения. Для этого используется цепь, подключенная к первому и второму выходу узла 14, содержащая последовательно включенный переменный резистор и первый ограничительный резистор, причем второй выход этого резистора подключен к одному из выводов обмотки возбуждения, другой вывод которой подключен к положительному выходу второго выпрямителя, питающегося от дополнительной обмотки статора, чем осуществляется начальное возбуждение и обеспечение режима холостого хода, с другой стороны, через управляющие входы 1 и 2 узла 14 осуществляется обратная связь по выходному напряжению основной обмотки через силовой выпрямитель, питающийся от основной обмотки. Пороговым элементом узла 14 служит стабилитрон 58, а для установки напряжения служит резистор 56, диоды 49 и 60 являются ограничивающими, защищая транзисторы узла 14 от пробоя от импульсов напряжения при коммутации тока возбуждения.

Изготовлен опытный образец предлагаемого устройства, в котором давление, проходящее через кран 1, снижается до 0,7 МПа, расчетное давление в сети потребителя 0,6 МПа, т.е. перепад составляет 0,1 МПа при расходе газа 0,634 кг/с ($V=1800$ Нм³/час), вращение вала - 3000 об/мин; развиваемая мощность синхронного генератора 5 кВт при частоте сети 50 Гц и напряжении 220 В. При этом, так как степень расширения незначительна (1,17), то температура газа практически не меняется (изменение составляет 1,04-1,1).

Предлагаемое устройство предназначено для частичного покрытия потребности в электроэнергии. По этой же схеме могут быть разработаны установки для полного обеспечения электроэнергией на станции, что создает автономность питания станции электроэнергией и ее независимость от внешних источников.

Объемы и давление перекачиваемых газов позволяют вырабатывать электроэнергию не только для покрытия собственных потребностей, но и

поставлять ее сторонним потребителям. Устройство контроля состояния электрической прочности изоляции обеспечивает отключение потребителей при снижении сопротивления изоляции ниже допустимого уровня. Аналогично отключается потребитель при чрезмерном повышении напряжения и срабатывании устройства контроля напряжения.

Авторами испытаны различные варианты предлагаемого узла 12. В частности, для устройства на фиг.5 в качестве элемента 39 использован варистор с порогом 80 В, с последовательным сопротивлением 33 кОм, элемент 14 – токовое реле РЭС 64А с током срабатывания $I_{ср}=1,2-1,3$ мА и с сопротивлением обмотки 10 кОм. Срабатывание узла 5 происходило при сопротивлении изоляции от 38 до 75 кОм в зависимости от напряжения сети 200-250 В.

Испытания узла 14 показали, что при мощности автономного источника питания 1-5 кВт обеспечивается необходимое поддержание постоянства напряжения и высокое качество генерируемой энергии, обусловленное низкой пульсацией выпрямленного напряжения в пределах до 5%.

2.3.3. Действующее свидетельство на полезную модель (№ 21629), патентообладатель - Федеральное государственное унитарное предприятие "Научно-производственное предприятие "Мотор":

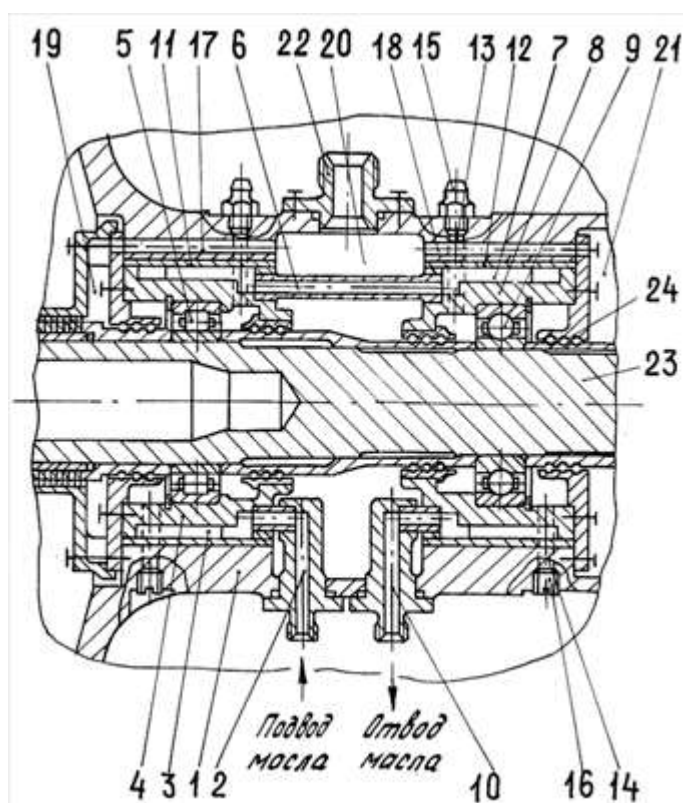


Рис.48

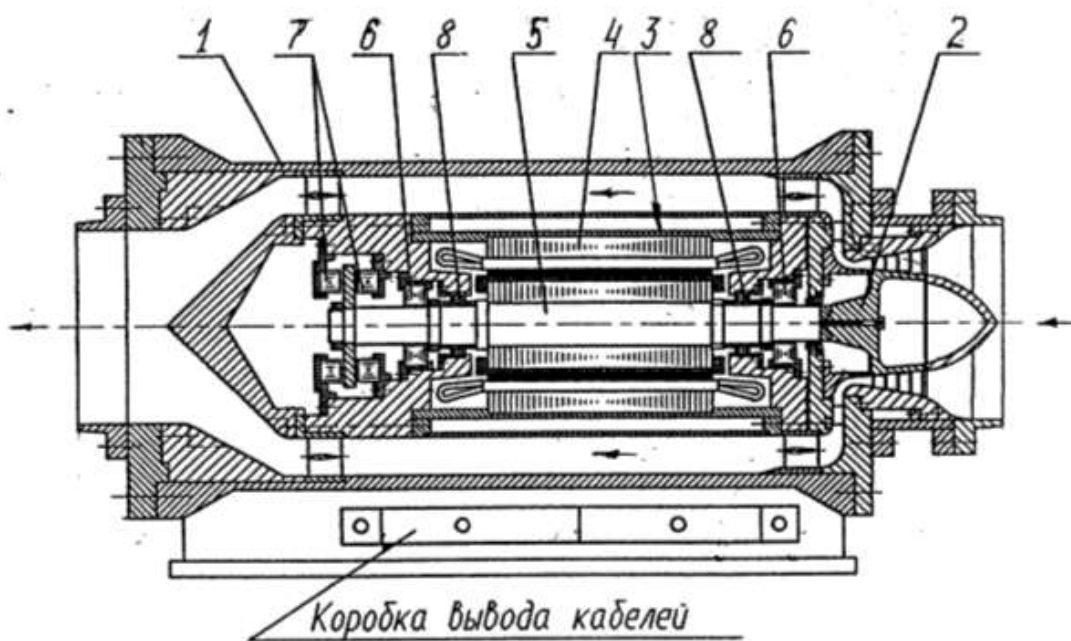
На рисунке изображено в продольном разрезе устройство для охлаждения корпусов подшипников турбодетандеров. Опора вала 1 снабжена каналом 2 подвода охлаждающего масла, образованного двумя переходниками и

соединенного с кольцевой полостью 3 проточного охлаждения корпуса 4 роликподшипника 5, которая сообщается с помощью канала 6 в виде переходника с кольцевой полостью 7 проточного охлаждения корпуса 8 шарикоподшипника 9, соединенной каналом 10 отвода охлаждающего масла, образованного двумя переходниками, причем кольцевые полости 3 и 7, для улучшения теплоотвода, выполнены в виде лабиринта и заварены кожухами 11 и 12. Кроме этого, опора вала 1 и корпуса подшипников 4 и 8 снабжены отверстиями 13 и 14 с масленками 15 и пробками 16 для набивки и смены консистентной смазки, а также уравнительными каналами 17 и 18 суфлирования прорвавшихся газов из полостей 19, 20 и 21 опоры вала 1 и эжекционного отсоса этих газов через фланцевый переходник 22.

Для предотвращения вытекания консистентной смазки из корпусов подшипников 4 и 8 в полость 20 суфлирования на валу 23 и в корпусах закреплены уплотнения 24 щелевого типа с жировыми канавками.

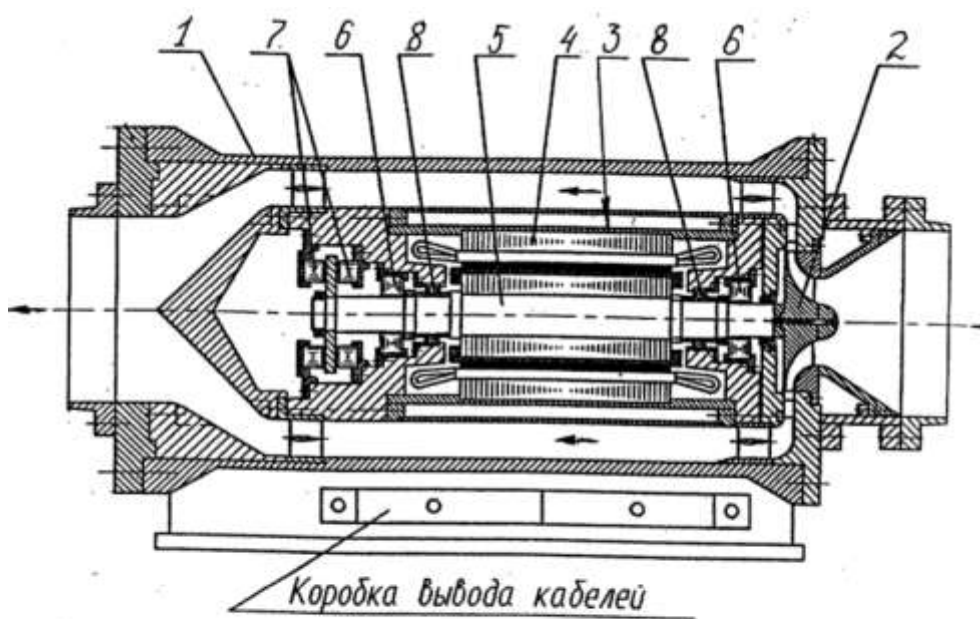
При работе устройства последовательно через канал 2, кольцевую полость 3, канал 6, кольцевую полость 7 и канал 10 прокачивается масло после охлаждения в газожидкостном теплообменнике системы охлаждения и смазки редуктора турбодетандера (не показаны), надежно выполняя охлаждение, теплозащиту и стабилизацию теплового состояния корпусов подшипников с консистентной смазкой на различных режимах работы, без ухудшения эффективности установки по расходу и утечкам газа и масла и усложнения конструкции.

2.3.4. Действующее свидетельство на полезную модель (№23670), патентообладатель - ЗАО "Научно-исследовательский и конструкторский институт центробежных и роторных компрессоров им. В.Б. Шнеппа":



Фиг. 1 64

Рис.49



Фиг. 2

Рис.50

На фиг.1 показан электромашинный турбодетандер с осевой турбиной, осевое сечение; на фиг.2 – то же, с радиальной турбиной.

Электромашинный турбодетандер содержит корпус 1 в виде трубы с фланцами, образующими входное и выходное отверстия, и размещенные в его полости осевую или радиальную турбину 2 и генератор 3 с образованием проточного канала между генератором 3 и корпусом 1. Неподвижная часть турбины 2 и статор 4 генератора закреплены на корпусе 1. Турбина 2 расположена со стороны входного отверстия. На совмещенном роторе 5 установлены вращающиеся части турбины, роторные части электрогенератора, а также опорных 6 и упорного 7 электромагнитных подшипников системы активного магнитного подвеса (СМП), которыми удерживается ротор 5. Между корпусом 1 и ротором 5 расположен также страховочный подшипник 8 качения, предназначенный для удержания ротора 5 в случае отключения СМП.

Турбодетандер работает следующим образом.

Природный (или другой) газ с повышенным давлением на входе поступает на турбину 2 электродетандера и приводит ротор 5 во вращение, обеспечивая требуемое давление газа на выходе. Электродетандера создает рабочую нагрузку на роторе 5 (в том числе, регулируемую), осуществляя преобразование механической энергии ротора 5 в электрическую энергию переменного тока, напряжение и частота которого могут изменяться в зависимости от режима работы турбодетандера. Система магнитного подвеса, состоящая из электромагнитных подшипников 6, 7 (опорный и упорного) и блока управления, обеспечивает бесконтактный подвес ротора 5, тем самым, исключая потери на трение и износ вращающихся узлов турбодетандера.

Для регулирования режимов работы турбодетандера, а также для преобразования и стабилизации параметров электрической энергии до значений, соответствующих требованиям потребителей, в турбодетандере может быть предусмотрена система вторичного преобразования электроэнергии, содержащая в общем случае комплект электронных блоков и электротехнических устройств, а именно:

- выпрямителей для преобразования напряжения изменяющейся частоты в постоянное напряжение;
- блок управления генератора для регулирования нагрузки или для стабилизации постоянного напряжения путем изменения напряжения возбуждителя электродетандера;

- аккумуляторная станция для обеспечения буферных режимов при изменении нагрузки потребителей электрической энергии и при изменении режимов работы турбодетандера;
- инверторы для преобразования напряжения постоянного тока в напряжение переменного тока промышленной частоты.

2.3.5. Действующее свидетельство на полезную модель (№ 38802), патентообладатель - ОАО "Калужское опытное бюро моторостроения".

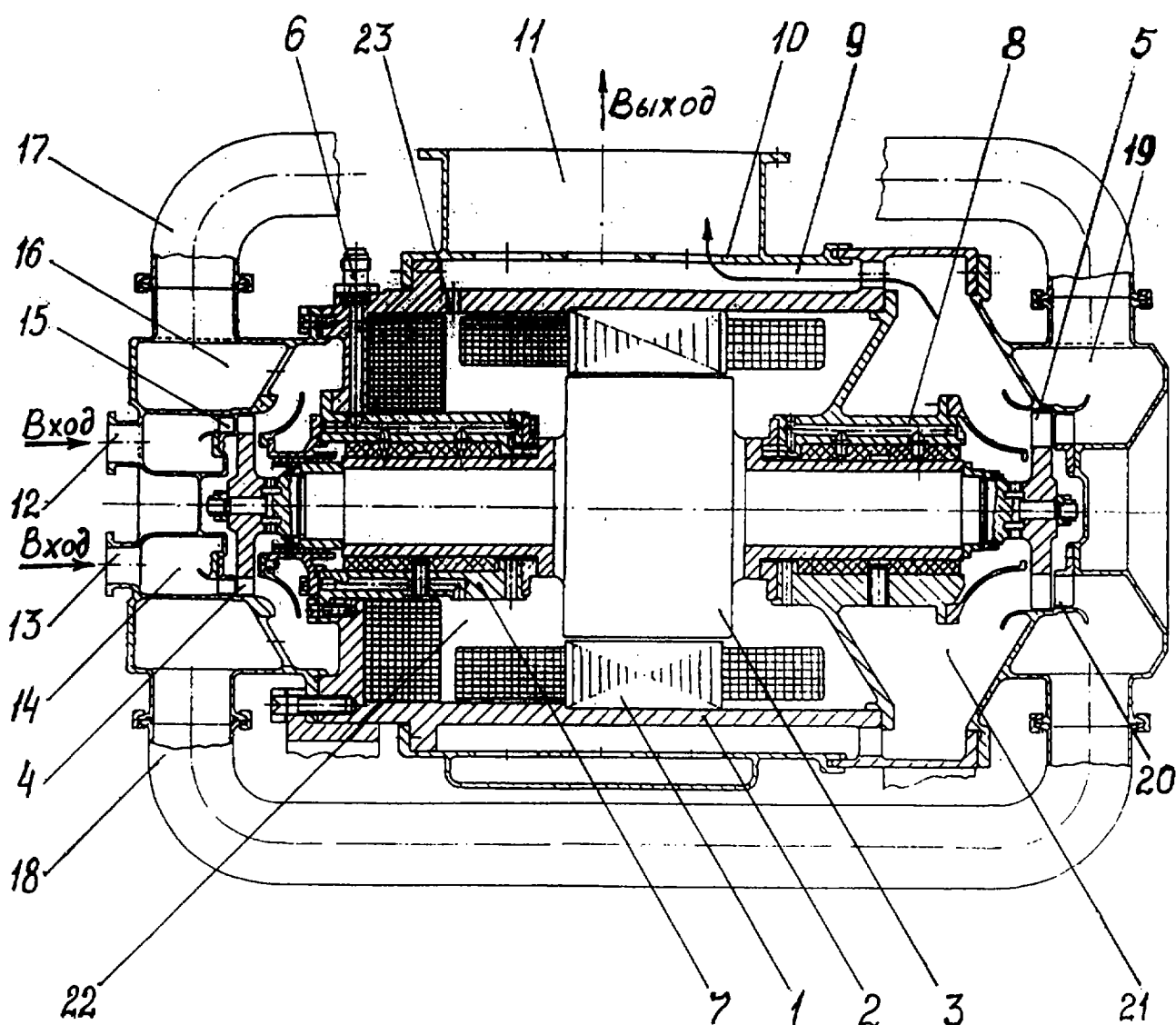


Рис.51

Предлагаемое устройство поясняется чертежом, где изображен продольный разрез турбодетандерной электростанции.

Турбодетандерная электростанция содержит электрогенератор 1 с корпусом 2 и ротором 3 и двухступенчатый турбодетандер с рабочими колесами 4 и 5, расположенными консольно на валу ротора 3 электрогенератора 1. Стрелками ВХОД и ВЫХОД обозначены соответственно места входа природного газа на турбодетандерную электростанцию и выхода его в магистраль для подачи потребителю.

На корпусе 2 имеется штуцер 6 для подачи природного газа высокого давления на газостатическую опору 7 ротора 3 электрогенератора 1. Такой же штуцер имеется для подвода природного газа на газостатическую опору 8.

Кривой стрелкой на чертеже обозначено направление движения природного газа из рабочего колеса 5 турбодетандера в кольцевую полость 9 между корпусом 2 и кожухом 10 и далее в выхлопной патрубок 11.

В работе природный газ подается через патрубки 12 и 13, кольцевую полость 14 и сопловой аппарат 15 на рабочее колесо 4 турбодетандера. После рабочего колеса 4 природный газ поступает в кольцевую полость 16 и далее по трубам 17 и 18 в кольцевую полость 19. Из кольцевой полости 19 через сопловой аппарат 20 природный газ поступает на рабочее колесо 5 турбодетандера. Из рабочего колеса 5 он подается в кольцевую полость 9 и далее в выхлопной патрубок 11. Проходя через рабочие колеса 4 и 5, природный газ преобразует энергию давления в механическую энергию вращения ротора 3 электрогенератора 1. При этом температура природного газа снижается. Холодный газ при прохождении кольцевой полости 9 охлаждает электрогенератор 1 и подогревается сам. Штуцер 6 соединен с магистралью природного газа высокого давления. Газ через штуцер 6 и другой такой же штуцер подается для смазки газостатических опор 7 и 8. После прохождения газостатических опор 7 и 8 природный газ попадает во внутреннюю полость 21 электрогенератора 1, охлаждает электрогенератор и далее через отверстия 22 выходит в кольцевую полость 9 и в выхлопной патрубок 11.

2.3.6. Действующее свидетельство на полезную модель (№39937), патентообладатель - "Московский энергетический институт».

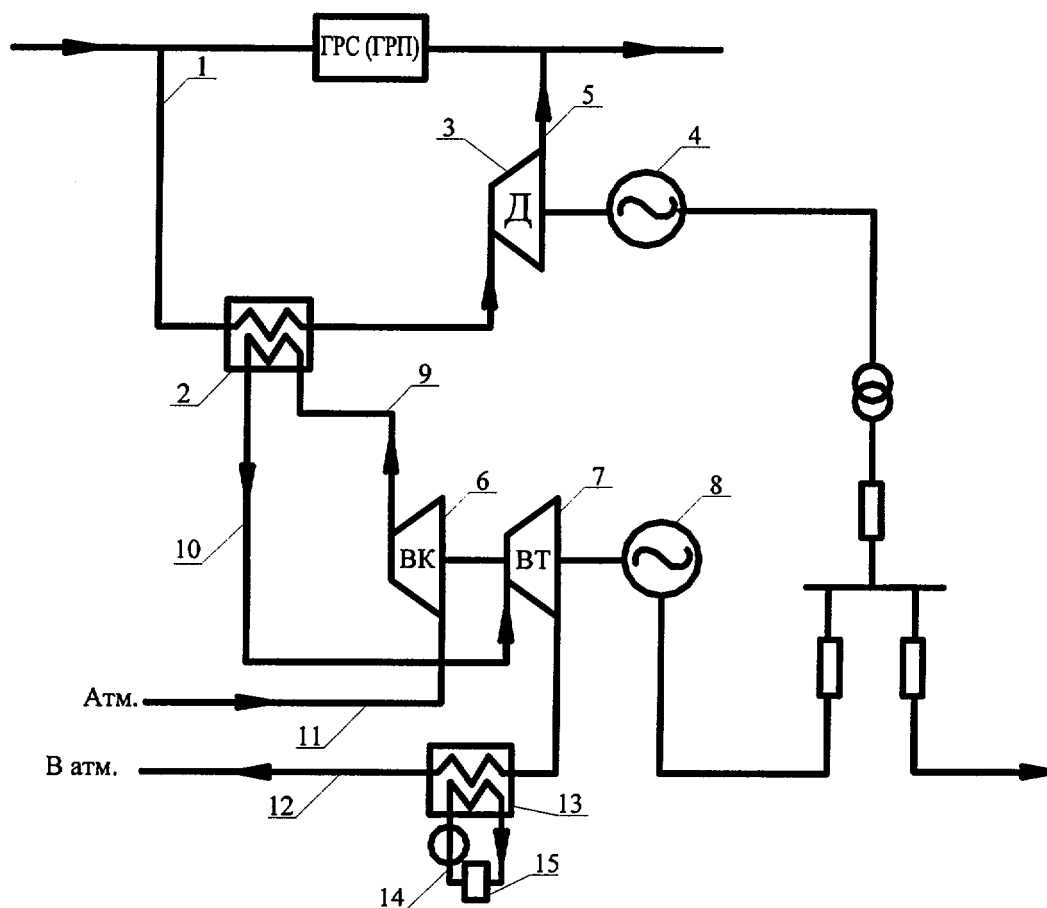


Рис.52

На чертеже изображена схема предлагаемого устройства.

Устройство содержит трубопровод высокого давления 1, установленный по ходу подачи газа в детандер, и теплообменник подогрева газа 2 типа "воздух-газ", детандер 3, кинематически связанный с электрогенератором 4, трубопровод низкого давления 5, соединяющий выход детандера с газопроводом за ГРС (ГРП), воздушный компрессор 6, кинематически связанный с воздушной турбиной 7 и электродвигателем 8, трубопровод горячего воздуха 9, соединяющий выход воздушного компрессора с теплообменником 2, воздухопровод высокого давления 10, соединяющий теплообменник 2 с входом воздушной турбины 7, воздухопроводы низкого давления 11 и 12, соединяющие соответственно вход воздушного компрессора и выхлоп воздушной турбины с атмосферой. Для использования холода, получаемого вследствие адиабатного расширения воздуха, в воздушной турбине 7 в линии воздухопровода низкого давления 12 устанавливается теплообменник, в котором холодный воздух подогревается хладагентом, циркулирующим в замкнутом контуре 14, который передает получаемый от воздуха холод потребителю холода 15.

Устройство работает следующим образом.

При работе детандер-генератора 3 газ, подаваемый по трубопроводу 1 к детандеру 3, подогревается до температуры T_g в теплообменнике 2, в котором в качестве греющего теплоносителя используется нагретый механическим путем воздух с выхода компрессора 6. Привод воздушного

компрессора 6 осуществляется электродвигателем 8, включенным в электрическую сеть. В результате сжатия воздуха в компрессоре температура воздуха повышается. Используя теплоту этого воздуха в теплообменнике подогрева газа, обеспечивается подогрев газа перед детандером. При этом степень сжатия воздушного компрессора 6 выбирается таким образом, чтобы температура воздуха на выходе компрессора T_v была больше требуемой температуры подогрева газа T_r , т.е. $T_v > T_r$. С выхода теплообменника 2 охлажденный воздух по воздухопроводу 10 подается на вход воздушной турбины 7, при адиабатном расширении в турбине воздух охлаждается, с выхода воздушной турбины холодный воздух по воздухопроводу 12 сбрасывается в атмосферу. Воздушный компрессор 6, воздушная турбина 7 и электродвигатель 8 связаны кинематически. Использование воздушной турбины 7 позволяет снизить мощность электродвигателя 8. Установленный в линии воздухопровода 12 теплообменник-утилизатор холода 13 соединяется по контуру хладагента 14 с потребителем холода 15. Электрическая энергия, вырабатываемая электрогенератором 4, связанным кинематически с детандером 3 направляется в сеть. Часть этой энергии используется для работы электродвигателя 8.

Благодаря тому, что подогрев газа осуществляется горячим воздухом из выхлопа воздушного компрессора, и сжигания топливного газа не требуется, достигается повышение экономических и экологических показателей детандер-генераторной установки.

2.3.7. Действующее свидетельство на полезную модель (№ 43630), патентообладатель - "Московский энергетический институт».

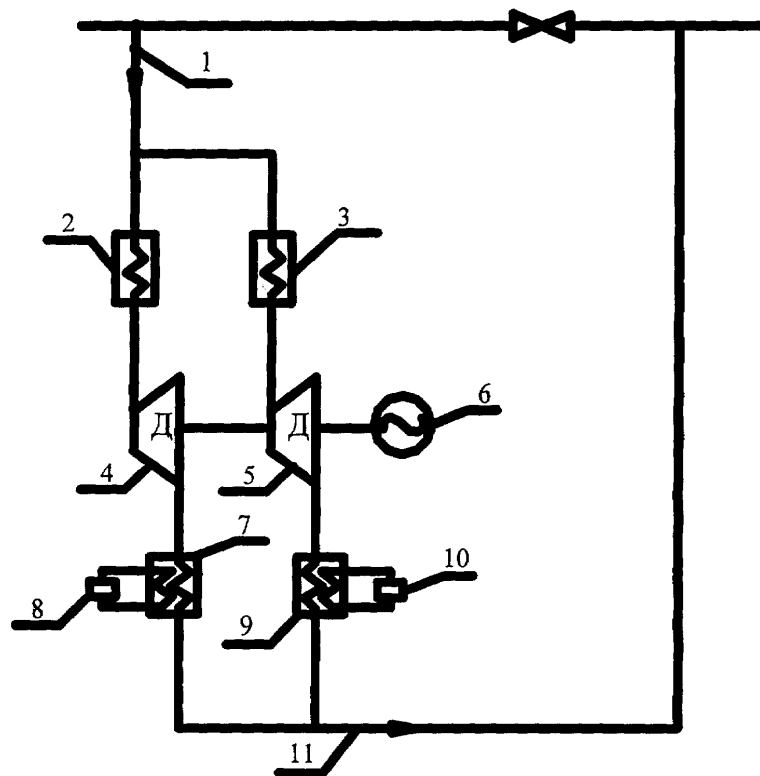


Рис.53

На чертеже представлена схема предлагаемого устройства.

Устройство содержит трубопровод высокого давления 1, установленные по ходу подачи газа в детандер теплообменники подогрева газа 2 и 3, детандер, разделенный на две секции 4 и 5, кинематически связанные с электрогенератором 6, а также теплообменник 7 для получения холода потребителем 8 и теплообменник 9 для получения теплоты потребителем 10, трубопровод низкого давления 11.

Устройство работает следующим образом.

При работе детандер-генератора 4, 5, поток газа, подаваемый по трубопроводу высокого давления 1 к детандеру, разделяется на два параллельных потока и подогревается в теплообменниках 2 и 3, расположенных перед первой и второй секциями детандера соответственно. Часть потока газа подогревается перед первой секцией детандера 4 в теплообменнике 2, а часть потока газа дополнительно подогревается в теплообменнике 3 и направляется во вторую секцию детандера 5, где происходит его дальнейшее расширение. На выходе из первой секции детандера 4 установлен теплообменник 7 для получения холода потребителем 8, соединяющий выход цилиндра детандера 5 с трубопроводом низкого давления 11. На выходе из второй секции 5 детандера установлен теплообменник 9 для получения теплоты потребителем 10. Нагретый газ расширяется в детандере с совершением механической работы и преобразованием ее в электрическую энергию в генераторе 6.

Благодаря тому, что происходит разделение на два параллельных потока газа перед детандером и на выходе из первой 4 и второй 5 секции установлены теплообменники 7 и 9, достигается эффект получения теплоты и холода одновременно, и как следствие повышение экономических показателей при производстве теплоты и холода.

2.3.8. Действующее свидетельство на полезную модель (№ 45780), патентообладатель - АКАДЕМИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ НАУК РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ.

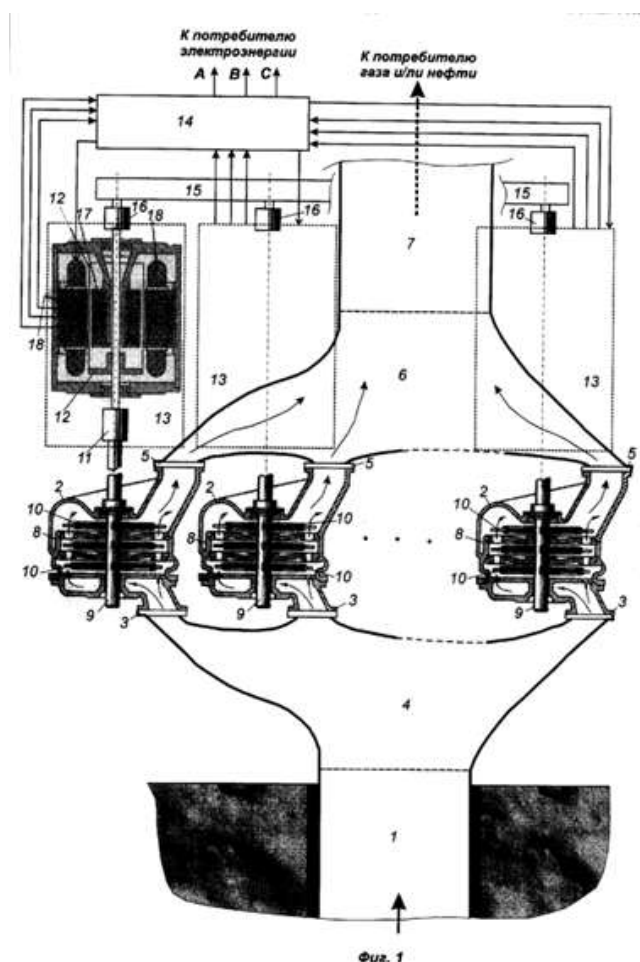


Рис.54

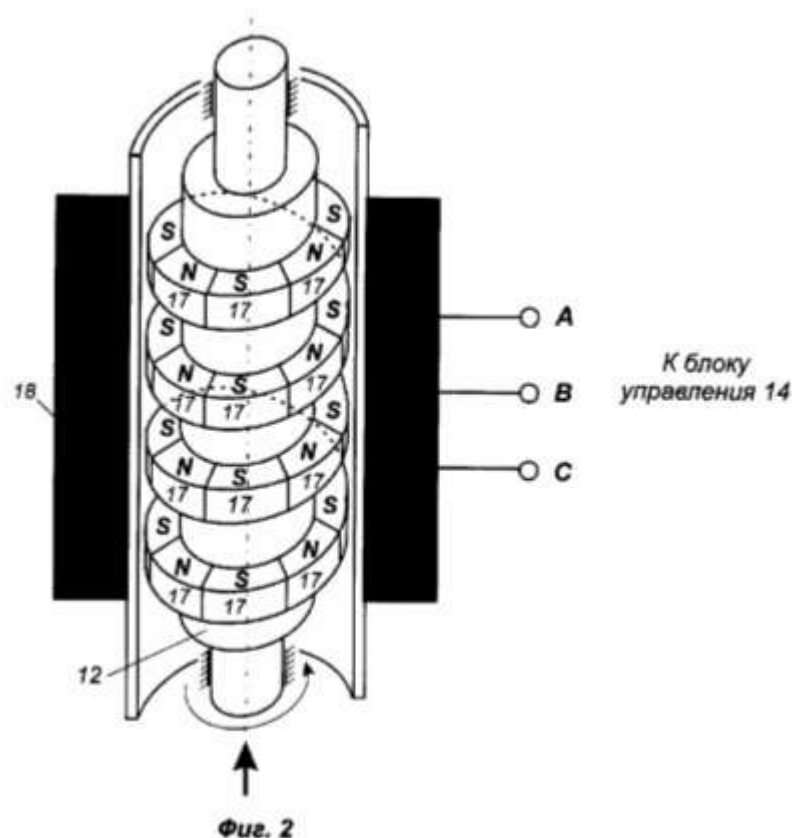


Рис.55

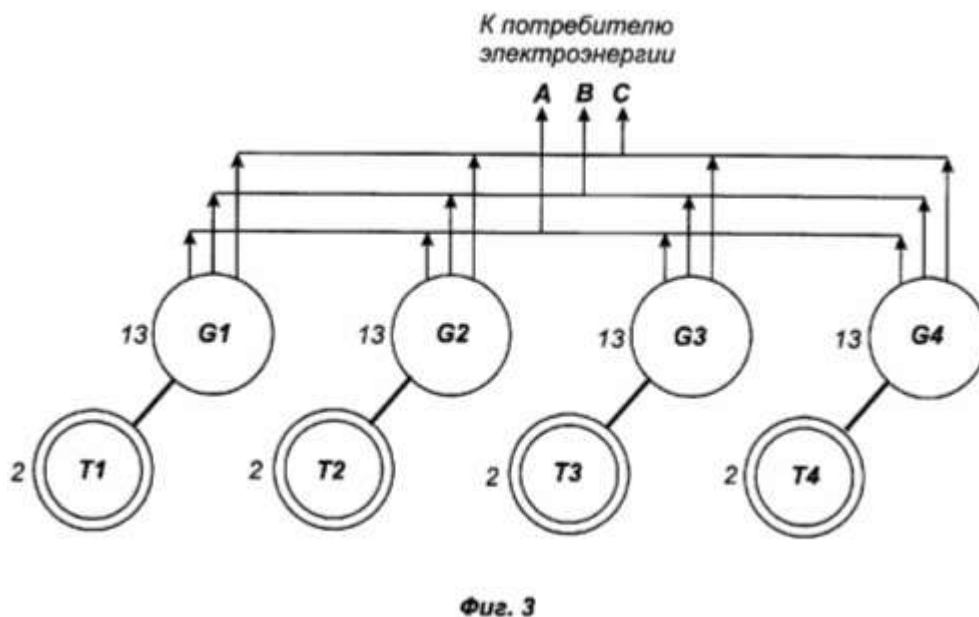


Рис.56

Сущность полезной модели поясняется чертежами, где:

- на фиг.1 представлена структурная схема установки;
- на фиг.2 изображен возможный вариант конструкции электрогенератора;
- на фиг.3 приведена схема параллельного включения обмоток генераторов.

Установка содержит один или n выходных каналов, где $n > 1$, с проходными камерами 2, входы которых через фланцевые соединения 3 с уплотнениями (на чертеже не показаны) связаны через входной коллектор 4 с выходом буровой скважины 1.

Выходы проходных камер 2 связаны через фланцевые соединения 5 с уплотнениями (на чертеже не показаны) со входами выходного коллектора 6, выход которого связан с магистралью 7 передачи жидких и/или газообразных полезных ископаемых к потребителю.

В проходных камерах 2 размещены турбины 8, в корпусе которой расположены на общем валу 9 аэрогидродинамические элементы, выполненные, например, в виде наклонных лопаток 10.

Валы 10 турбин 8 жестко связаны через соединительные муфты 11 с роторами 12 электрогенераторов 13.

Установка содержит также блок 14 управления и синхронизатор 15, связанный через соединительные муфты 16 с роторами 12 электрогенераторов 13.

Входы блока 14 управления соединены со статорными обмотками 17 электрогенераторов 13, а соответствующие выходы подключены к управляющим входам электрогенераторов 13 и синхронизатора 15.

Статорные обмотки 17 электрогенераторов 13 (G1 - G4) соединены параллельно (см. фиг.3) с согласованием фаз переменного напряжения, снимаемого с этих обмоток.

На фиг.3 турбины 8 изображены условно и обозначены символами T1 - T2.

Выходы А, В, С являются выходами с трехфазным переменным напряжением.

В одном из вариантов конструкции (фиг.2) турбина 8 совмещена с ротором 12 электрогенератора 13, выполненного из материала, стойкого к воздействию агрессивных сред, например, из керамики, в которую вмонтированы постоянные магниты 17 с высокой коэрцитивной силой. При этом постоянные магниты 17 изготовлены на основе редкоземельных металлов.

Установка для получения электроэнергии работает следующим образом.

Газовый и/или газоконденсатный поток под высоким давлением из скважины 1 поступает во входной коллектор 4, посредством которого он распределяется по n отдельным независимым каналам с проходными камерами 2, в которых размещены турбины 8, в корпусе которой расположены на общем валу 9 аэрогидродинамические элементы, выполненные, например, в виде наклонных лопаток 10. Под воздействием потока газовой и/или жидкой среды (газоконденсата) турбины 8 приводятся во вращение.

Поскольку валы 10 турбин 8 жестко связаны через соединительные муфты 11 с роторами 12 электрогенераторов 13, то они также вращаются с той же угловой скоростью.

В приведенной конструкции роторы 12 содержат постоянные магниты с высокой коэрцитивной силой, благодаря чему в статорных обмотках 18 наводится трехфазное переменное напряжение, подаваемое от каждого синхронного генератора 13 через блок управления 14 на выход устройства (выходы А, В, С) к потребителю электроэнергии.

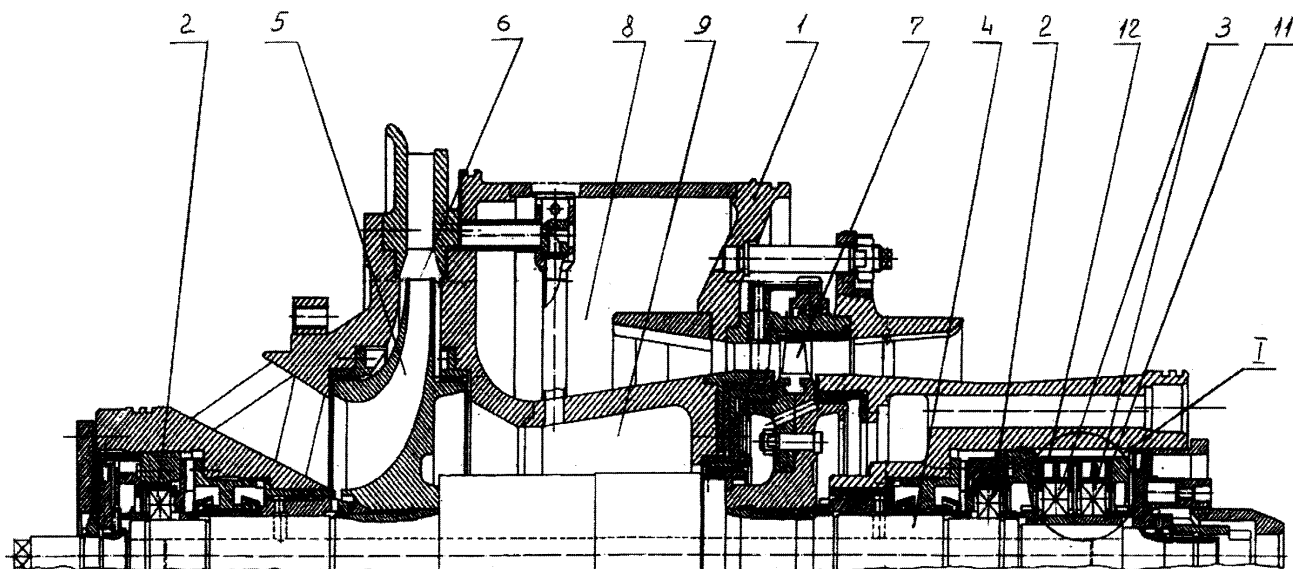
Для приведения скорости вращения роторов 12 всех генераторов 13 к одному и тому же значению служит синхронизатор 15, связанный с роторами 12 через соединительные муфты 16. Синхронизатор 15 - электромеханического типа, содержит в своем составе взаимосвязанные шестереночные передачи и элементы управления (на чертежах не показаны).

Блок управления 14 служит для обеспечения согласованной работы электрогенераторов 13 и формирования управляющих сигналов, поступающих на статорные обмотки 18, а также для согласования фаз напряжения, поступающего от всех электрогенераторов 13.

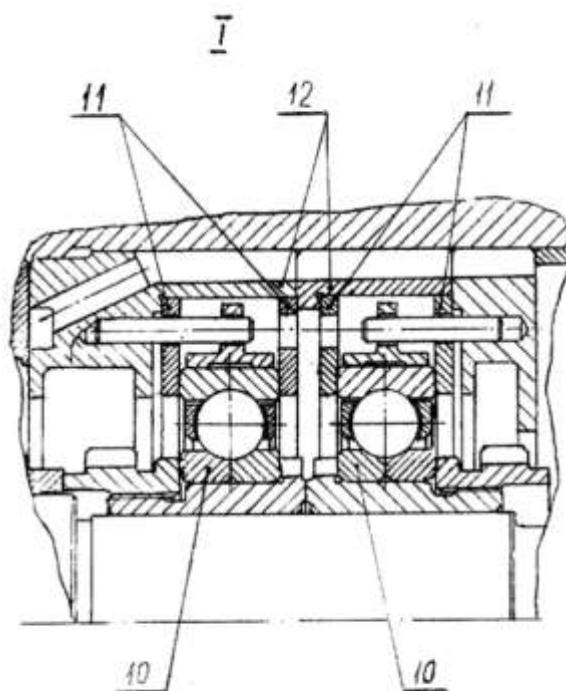
Благодаря параллельному включению электрогенераторов 13 (фиг.3) обеспечивается повышение мощности электрической энергии, получаемой в устройстве.

Вместе с тем, газовый или газоконденсатный поток, прошедший проходные камеры 2, поступает через выходной коллектор 6 далее в основную магистраль 7. Поскольку начальное давление на выходе скважин 1 является достаточно высоким, а потери кинетической энергии потока среды в турбинах 2 являются сравнительно небольшими, то на входе потока в магистраль 7 передачи полезных ископаемых к потребителю давление среды остается еще достаточно высоким и используется для транспортировки углеводородного сырья к потребителю.

2.3.9. Действующее свидетельство на полезную модель (№ 46082), патентообладатель - ООО "Ямбурггаздобыча".



Фиг.1
Рис.57



Фиг.2

Рис.58

На фиг.1 показан продольный разрез турбодетандера, а на фиг.2 – вырыв (увеличено) на фиг.1.

Турбодетандер содержит корпус 1, в котором на двух радиальных 2 и одной осевой 3 опорах, выполненных в виде подшипников качения, установлен вал 4, а на последнем установлены рабочее колесо 5 центробежного компрессора 6 и осевая турбина 7. В корпусе 1 выполнены

полость 8 на входе в осевую турбину 7 и разгрузочная полость 9 между рабочим колесом 5 центробежного компрессора 6 и осевой турбиной 7. Осевая опора 3 выполнена в виде двух упорных подшипников 10, каждый из которых установлен между сопряженными с боковыми поверхностями наружной обоймы упорного подшипника 10 кольцевыми упругими пластинами 11, установленными в корпусе 12 осевой опоры 3. Диапазон разброса податливости в осевом направлении кольцевых упругих пластин 11 каждого из подшипников 10 и свободное перемещение внутренней обоймы упорного подшипника 10 относительно его наружной обоймы в осевом направлении каждого из упорных подшипников 10 относительно друг от друга не превышает $\pm 10\%$.

Газ, как правило природный газ, температурой около 15°C и давлением порядка 10 МПа из компрессорной установки поступает на рабочее колесо 5 центробежного компрессора 6 турбодетандера, где дополнительно сжимается и затем направляется на внешние устройства охлаждения, например в газо-воздушный и регенеративный теплообменники (не показаны на чертеже). После этого охлажденный газ поступает в полость 8 на входе в осевую турбину 7 и затем в турбину 7, где при расширении газа его температура и давление понижаются, в частности температура до -35°C , а давление до 6,3 МПа. При пуске и остановке турбодетандера, когда перепад давлений газа на осевой турбине 7 существует, а центробежный компрессор 6 из-за низких оборотов еще не создает требуемого перепада давления на рабочем колесе 5, система газодинамической разгрузки работает неэффективно. Это приводит к кратковременному возникновению критических осевых усилий. При возникновении осевого усилия его воспринимают оба упорных подшипника 10. Это усилие распределяется между упорными подшипниками 10 приблизительно одинаково, т.е. делится на 2. При указанных выше допусках второй упорный подшипник воспринимает не менее 80% осевого усилия на валу 4.

Данная полезная модель может быть использована в качестве источника холода в устройствах, использующих природный газ, в том числе для низкотемпературной сепарации газа или его охлаждения перед транспортировкой по газопроводам, проложенным в условиях вечной мерзлоты.

2.3.10. Действующее свидетельство на полезную модель (№ 46083), патентообладатель - ООО "Ямбурггаздобыча".

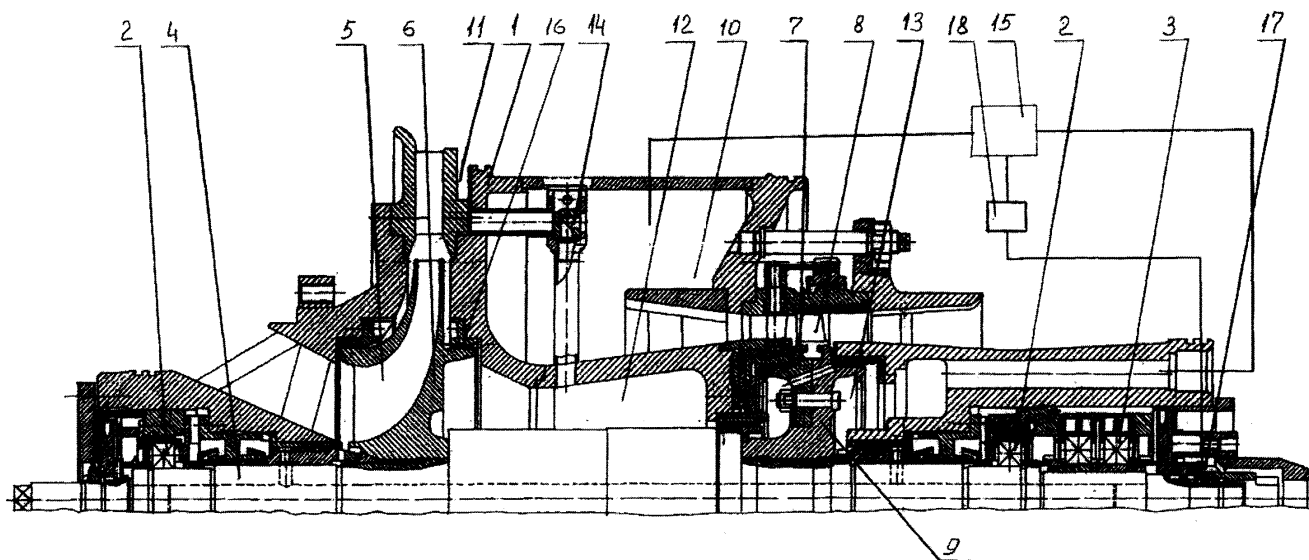


Рис.59

Турбодетандер содержит корпус 1, в котором на двух радиальных 2 и осевой 3 подшипниковых опорах установлен вал 4, а на последнем установлены рабочее колесо 5 центробежного компрессора с основным диском 6 и осевая турбина 7 с рабочими лопатками 8, установленными на турбинном диске 9. В корпусе 1 выполнены полость 10 на входе в осевую турбину 7, полость 11 отвода сжатого газа из центробежного компрессора и кольцевая разгрузочная полость 12 между рабочим колесом 5 центробежного компрессора и осевой турбиной 7, ограниченная корпусом 1, основным диском 6 рабочего колеса 5 и валом 4. Турбодетандер снабжен второй кольцевой разгрузочной полостью 13, переключающим устройством 14 и управляющим перепускным устройством 15. Разгрузочная полость 12 через переключающее устройство 14 сообщена с полостью 10 на входе в турбину 7 или полостью 11 отвода сжатого газа из центробежного компрессора и через лабиринтное уплотнение 16, выполненное основным диском 6 рабочего колеса 5 с областью на выходе из рабочего колеса 5, а полость 10 на входе в осевую турбину 7 сообщена через управляющее перепускное устройство 15 со второй разгрузочной полостью 13, которая выполнена в корпусе 1 за турбинным диском 9 по ходу сжатого газа через осевую турбину 7.

Газ, как правило природный газ, температурой около 15°C и давлением порядка 10 МПа из компрессорной установки поступает на рабочее колесо 5 центробежного компрессора турбодетандера, где дополнительно сжимается и затем направляется на внешние устройства охлаждения, например в газоздушный и регенеративный теплообменники (не показаны на чертеже). После этого охлажденный газ поступает в полость 10 на входе в осевую турбину 7 и затем в турбину 7, где при расширении газа его температура и давление понижаются, в частности температура до -35°C , а давление до 6,3 МПа. Расширенный и охлажденный газ из турбодетандера подают в установки для его окончательной подготовки к транспортировке по газовой магистрали, например в сепаратор для отделения конденсата и

При необходимости для автоматизации процесса контроля за положением вала 4 на последнем может быть установлен датчик 17 осевого перемещения вала 4, подсоединенный к внешнему управляющему устройству 18, которое выдает сигнал управляющему перепускному устройству 15, что позволяет более оперативно регулировать давление газа во второй разгрузочной полости 13.



Установка содержит трубопровод высокого давления 1, установленный по ходу подачи газа в детандер, теплообменник подогрева газа 2 типа «воздух-газ», детандер 3, воздушный компрессор 4, воздушную турбину 5 и электрогенератор 6, расположенные на одном валопроводе, трубопровод низкого давления 7, соединяющий выход детандера с газопроводом за ГРС (ГРП), трубопровод подогретого газа 8, соединяющий вход детандера с теплообменником 2, горячий воздухопровод высокого давления 9, соединяющий теплообменник 2 с выходом воздушного компрессора 4, холодный воздухопровод 10, соединяющий выход теплообменника 2 со входом воздушной турбины 5, воздухопроводы низкого давления 11 и 12, соединяющие соответственно вход воздушного компрессора и выхлоп воздушной турбины с атмосферой. Для использования холода, получаемого вследствие адиабатного расширения воздуха, в воздушной турбине 5 в линии воздухопровода низкого давления 12 устанавливается теплообменник 13, в котором холодный воздух подогревается хладагентом, циркулирующим в замкнутом контуре 14, который передает получаемый от воздуха холод потребителю холода 15. Для оптимизации работы детандера 3, воздушной турбины 5 и компрессора 4 на валопроводе дополнительно может быть установлен механический редуктор 16.

Устройство работает следующим образом.

При работе детандера 3 газ с температурой ТГО подаваемый по трубопроводу 1 к детандеру 3, подогревается до температуры $TГ > TГО$ теплообменнике 2, в котором в качестве греющего теплоносителя используется нагретый механическим путем воздух с выхода компрессора 4, имеющий температуру $TВ > TГ$. Привод воздушного компрессора 4 осуществляется детандером 3 и воздушной турбиной 5, кинематически соединенными между собой и электрогенератором 6 единым валопроводом. Избыточная механическая суммарная мощность детандера 3 и воздушной турбины 5 преобразуется в электрогенераторе 6 в электрическую мощность, отдаваемую в электрическую сеть. В результате сжатия воздуха в компрессоре 4 температура воздуха повышается. Используя эту теплоту воздуха в теплообменнике подогрева газа, обеспечивается подогрев газа перед детандером. При этом степень сжатия воздушного компрессора 4 выбирается таким образом, чтобы температура воздуха на выходе компрессора $TВ$ была больше требуемой температуры подогрева газа $TГ$, т.е. $TВ > TГ$. С выхода теплообменника 2 охлажденный воздух с температурой $TВ > TГО$ по воздухопроводу 10 подается на вход воздушной турбины 5, при адиабатном расширении в турбине воздух охлаждается, с выхода воздушной турбины холодный воздух по воздухопроводу 12 сбрасывается в атмосферу. Установленный в линии воздухопровода 12 теплообменник-утилизатор холода 13 соединяется по контуру хладагента 14 с потребителем холода 15. Вырабатываемая детандером 3 и воздушной турбиной 5 мощность используется для работы компрессора 4 и привода электрогенератора 6.

Благодаря тому, что детандер 3, воздушный компрессор 4, воздушная турбина 5 и электрогенератор 6 кинематически связаны одним

валопроводом, увеличивается энергоэффективность установки за счет снижения механических потерь и потерь на передачу электроэнергии. Кроме этого, уменьшается количество подшипников, а следовательно, безвозвратных потерь масла в окружающую среду. Все это, вместе с нагревом газа горячим воздухом с выхлопа воздушного компрессора 4, при котором сжигания топливного газа не требуется, позволяет повысить экономические и экологические показатели детандер-генераторной установки.

2.4. Заключение раздела:

Материалы патентных исследований подробно изложены в «Отчете о патентных исследованиях» - МДГ 20.00.000.--- ИМ. По результатам их рассмотрения было установлено, что турбодетандер разработки ООО «Микротурбинные Технологии» обладает патентной чистотой на территории РФ. Указанный отчет, в установленном ГОСТ Р 15.011- 96 порядке, представлен в Приложение 2, а патенты и заявки – на электронном носителе (CD-Rom).

3. Анализ используемых технических решений

3.1. Введение

Задачей настоящего анализа является определение фирм, технически готовых поставлять ОАО «Газпром» турбодетандеры, которые могут быть использованы в качестве автономных источников электроснабжения ГРС.

3.2. Анализ используемых схем ГРС с турбодетандером

Не взирая на большое количество опубликованных, в том числе патентованных, схем ГРС с турбодетандером, реально отработана и используется, в основном, схема, приведенная на стр. 5 настоящего документа. Эта схема может быть реализована и в случае использования турбодетандера в качестве автономного источника электроснабжения ГРС. Она далеко не нова, проста в использовании и поэтому ни одна из известных фирм не имеет какого-либо особого преимущества перед другими. В разделе 2.2. настоящего документа приведено достаточно много оригинальных схем, но все они предназначены для выработки максимально возможного количества электроэнергии на ГРС. Ярким примером этого является схема, защищаемая действующим патентом № 2009389 ООО «Криокор», в которой газ перед турбодетандером нагревается уходящими газами газотурбинного двигателя. Аналогична ей и схема по не действующему патенту № 2083914 ЗАО «Инсерв». Для автономных источников электроснабжения ГРС такая схема просто не может быть реализована в виду малой потребности ГРС в электричестве – до 20 кВт.

3.3. Анализ используемых конструкций турбодетандеров

Из числа рассмотренных конструкций турбодетандеров только один агрегат полностью соответствует рассматриваемой задаче – турбодетандер МДГ-20

НТЦ «МТТ» (РФ), т.к. он изначально был спроектирован и оптимизирован под нее, т.е. служить в качестве автономного источника электроснабжения ГРС. Именно поэтому для этого турбодетандера был разработан новый класс конструкции осевой турбинной ступени и использованы другие новые технические решения. Все остальные турбодетандеры были спроектированы и оптимизированы совсем под другую задачу – утилизация максимально возможного количества энергии на ГРС.

Наиболее близкий к нему по своей конструкции и техническим решениям турбодетандер компании RMG (Германия) обладает мощностью 160 кВт, т.е. как минимум в 8 раз превышает мощность, необходимую для ГРС. Кроме того, в нем использованы два типа подшипников: электромагнитные и страхующие их в аварийной ситуации (отсутствие электроэнергии) - шариковые. В то время как МДГ-20 снабжен только одним типом подшипников – газовыми, не требующими электроэнергии, а, следовательно, и страхующих их шариковых подшипников.

3.4. Заключение раздела

В результате выполненного анализа установлено, что компанией технически готовой поставлять ОАО «Газпром» турбодетандеры, которые могут быть использованы в качестве автономных источников электроснабжения ГРС, в настоящее время является только НТЦ «Микротурбинные технологии».