

М. А. Таймаров, М. Р. Шарипов

ГАЗОТУРБИННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ СО СВОБОДНО – ПОРШНЕВЫМ ГЕНЕРАТОРОМ ГАЗА*Ключевые слова: генератор газа, углеводородное топливо, электрогенератор.*

Представлено устройство для получения механической энергии за счет сжигания углеводородного топлива. Устройство может быть использовано в качестве механического привода электрогенераторов, насосов, компрессоров, автомобильных и тракторных трансмиссий и других агрегатов с механическим приводом, которые работают в полевых условиях или в условиях полной автономности и отсутствия других источников генерации тепловой или электрической энергии.

Keywords: the generator gas, hydrocarbon fuel, emergency generator.

Presents a device for obtaining mechanical energy due to the combustion of hydrocarbon fuels. The device can be used as a mechanical drive of electric generators, pumps, compressors, automobile and tractor transmissions and other units with mechanical drive, which work in the field or in a condition of absolute autonomy and a lack of other sources of generation of thermal or electric energy.

Введение

Свободно-поршневой двигатель (СПД) - двигатель внутреннего сгорания, в котором отсутствует кривошипно-шатунный механизм, а ход поршня от нижней мёртвой точки в верхней мёртвой точки осуществляется под действием давления воздуха, сжатого в буферных ёмкостях, пружины или веса поршня. Указанная особенность позволяет строить только двухтактные СП ДВС. СП ДВС могут использоваться для привода машин, совершающих возвратно-поступательное движение (дизель-молоты, дизель-прессы, электрические генераторы с качающимся якорем), могут работать в качестве компрессоров или генераторов горячего газа.

Недостатки известных устройств:

1. Нерегулируемая величина опережения впрыска топлива в рабочий цилиндр двигателя в зависимости от изменения температуры топлива, что приводит к снижению КПД двигателя и к перерасходу топлива.

2. Не полное использование теплоты сжигаемого топлива в двигателе, из-за того, что продукты сгорания после турбины привода нагнетателя и силовой турбины выбрасываются в атмосферу с достаточно высокой температурой.

3. Так как двигатель запускается за счет давления сжатого воздуха от постороннего источника, то при отсутствии достаточного давления сжатого воздуха или ввиду неисправности воздушного пускового блока запуск двигателя не возможен.

Указанные недостатки устранены в заявляемой статье, которая направлена на решение задачи достижения стабильных значений КПД двигателя при изменяющихся температурах наружного воздуха и температуры топлива, повышения экономичности использования теплоты сжигаемого топлива в двигателе и обеспечения надежного запуска двигателя в работу при недостаточном давлении сжатого воздуха или отсутствии его в пусковом устройстве.

Экспериментальная часть

Указанная цель достигается тем, что для подогрева топлива, подаваемого в форсунку и регулирования угла опережения впрыска топлива, используется теплота продуктов сгорания после турбины привода нагнетателя и силовой турбины перед выбросом их в атмосферу, а также путем применения для резервного запуска двигателя механической силы сжатых пружин.

Конструкция устройства приведена на рис.1, где элементы и узлы обозначены следующими позициями: 1 - рабочий цилиндр двигателя, 2 - рабочий поршень двигателя, 3 - продувочные щели, 4 - выхлопные щели, 5 - форсунка, 6-всасывающий клапан, 7 - нагнетательный клапан, 8 - поршень компрессора, 9 - буферная полость, 10 – ресивер компрессора, 11 - газосборник, 12 - турбина для привода нагнетателя, 13 –нагнетатель воздуха, 14 - силовая турбина, 15 – редуктор отбора мощности, 16 - пусковой блок воздушного запуска, 17 - теплообменник, 18 - вал турбины привода нагнетателя, 19 - вал силовой турбины, 20 – вход воздуха, 21 - продукты сгорания, 22 - подача топлива, 23 - пусковой клапан, 24 - предохранительно-регулирующий клапан, 25 - сжатый воздух для пуска, 26 -пусковая пружина, 27 - плунжер пусковой пружины, 28 - компрессорный цилиндр.

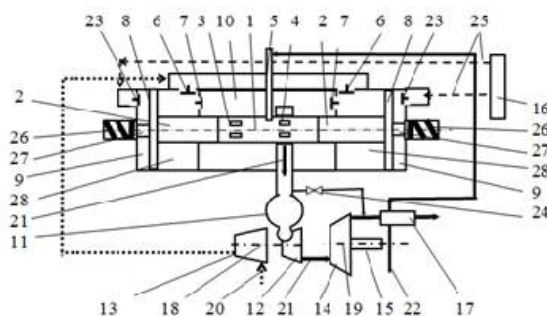


Рис. 1 – Конструкция устройства

Линии со стрелками на рис.1 обозначают направления движения: 20 - воздух, всасываемый из

атмосферы в нагнетатель, 21 - продукты сгорания из рабочего цилиндра, 22 - топливо, 25 - сжатый воздух для пуска двигателя.

Назначение и взаимодействие элементов и узлов в устройстве следующее.

Рабочий цилиндр 1 двигателя (см. рис.1) представляет собой полость круглого сечения и имеет по своей длине продувочные щели 3 и выхлопные щели 4. Цилиндр 1 предназначен для осуществления процесса сжигания жидкого топлива, впрыскиваемого форсункой 5 под высоким давлением порядка $1800...2050 \text{ кг/см}^2$, развиваемым топливным насосом (на рис. топливный насос не показан).

Рабочие поршни 2 служат для сжатия чистого воздуха, поступающего через продувочные щели 3 в рабочий цилиндр 1, до температуры воспламенения топлива в области $700...850^\circ \text{C}$. Движение рабочих поршней 2 навстречу друг другу осуществляется с помощью силы давления сжатого в буферных полостях 9 воздуха при достижении поршнями верхних (наружных) мертвых точек. Это движение синхронизировано относительно друг друга специальным механизмом (на рис. механизм не показан).

Сжатие воздуха, поступившего из ресивера 10 в цилиндр 1 через продувочные щели 3 происходит при движении поршней навстречу друг другу к нижней мертвой точке, находящейся в области выхлопных щелей 4. Процесс сжатия чистого воздуха в цилиндре начинается с момента закрытия поршнем 2 продувочных щелей 3.

Продувочные щели 3 служат для заполнения чистым воздухом рабочего цилиндра 1. Чистый воздух вытесняет через выхлопные щели 4 продукты сгорания топлива, оставшиеся от предыдущего рабочего цикла.

Впрыск топлива и последующее его воспламенение в цилиндре 1 происходит после закрытия вторым рабочим поршнем 2 выхлопных щелей 4. За счет возникающей силы давления при тепловом расширении образующихся при сгорании топлива газообразных продуктов происходит перемещение рабочих поршней 2 из нижних мертвых точек к наружным мертвым точкам.

Форсунка 5 служит для мелкодисперсного дробления жидкого топлива и подачи его с опережением в рабочий цилиндр 1 при подходе поршней 2 и 8 к верхним мертвым точкам. Опережение необходимо из-за того, что при подходе поршней 2 и 8 к верхним мертвым точкам резко падает скорость движения поршней и снижается скорость движения приводного от них валика топливного насоса (на рис. топливный насос не показан).

Чтобы обеспечить достаточную скорость движения плунжера топливного насоса, а следовательно, и интенсивность впрыска топлива, необходимо увеличить угол опережения подачи топлива. В данном устройстве решением этой проблемы является ускорение испарения топлива и сокращение времени его воспламенения и последующего сгорания. Конструктивно решением

является контролируемый подогрев жидкого топлива перед подачей его в форсунку.

Подогрев топлива 22 осуществляется в теплообменнике 17 за счет теплоты газообразных продуктов сгорания 21.

Всасывающие клапаны 6 и нагнетательные клапаны 7 по конструкции являются самодействующими пластинчатого типа и служат соответственно для всасывания порций воздуха и последующей их подачи в сжатом виде из компрессорных цилиндров 28 в ресивер 10.

Поршни 8 компрессора жестко связаны с рабочими поршнями 2 и служат для сжатия воздуха до давления $200...300 \text{ кг/см}^2$. Затем в компрессорных цилиндрах 28 происходит процесс выталкивания сжатого воздуха через нагнетательные клапаны 7 в ресивер 10.

Поршни 8 компрессора также сжимают воздух в буферных полостях 9, а после достижения верхней мертвой точки воспринимают силу давления сжатого в буферных полостях воздуха для осуществления обратного хода.

Буферные полости 9 служат для получения определенных объемов сжатого воздуха, с помощью силы, расширения которых можно обеспечить осуществление обратного хода поршней 8 и 2.

Ресивер 10 компрессора служит для промежуточного накопления и кратковременного хранения сжатого воздуха перед подачей его через продувочные щели 4 в рабочий цилиндр 1.

Газосборник 11 служит для сбора продуктов сгорания 21 после их выхлопа из рабочего цилиндра 1 и подачи этих продуктов на входной сопловой аппарат турбины 12 привода нагнетателя воздуха 13. На стадии запуска выход газосборника 11 к турбине 12 закрыт задвижкой (на рис. задвижка не показана). При запуске в работу продукты сгорания 21 по байпасному коллектору (на рис. позицией не обозначен) при открытом клапане 24 подаются в обход турбин 13 и 14 непосредственно в теплообменник 17.

Осевая турбина 12 для привода нагнетателя 13 осуществляет преобразование энергии высокотемпературных продуктов сгорания 21 в механическую энергию, которая используется для нагнетания забираемого из атмосферы воздуха 20 в приемный коллектор компрессора (на рис. коллектор позицией не обозначен). Турбина 12 находится на одном валу 18 с осевым нагнетателем 13 и жестко с ним связана.

Нагнетатель 13 служит для предварительного динамического сжатия забираемого из атмосферы воздуха 20 и подачи этого воздуха через клапаны 6 в компрессорный цилиндр 28 для сжатия до высокого давления.

Силовая турбина 14 служит для получения механической энергии за счет расширения высокотемпературных продуктов сгорания 21 после турбины 12. Через вал 19 силовая турбина 14 связана с редуктором 15 отбора мощности, который служит для понижения числа оборотов вала и передачи механической энергии для привода

электрогенератора, насоса или для привода автомобильных и тракторных трансмиссий.

Вал привода нагнетателя 18 не связан с валом 19 силовой турбины. Валы 18,19 вращаются независимо друг от друга.

Пусковой блок 16 воздушного запуска служит для запуска в работу двигателя путем подачи из баллонов сжатого воздуха 25 через пусковые клапаны 23 в буферные полости 9 при положениях поршней 8 в верхних (наружных) мертвых точках (на рис. баллоны не показаны).

Трубчатый теплообменник 17 служит для контролируемого нагрева топлива 22, подаваемого топливным насосом в форсунку 5. Нагрев топлива 22 в рабочем режиме производится за счет теплоты продуктов сгорания 21 после силовой турбины 14.

Предохранительно-регулирующий клапан 24 установлен на байпасном коллекторе (на рис. байпасный коллектор позицией не обозначен) и служит для подачи продуктов сгорания 21 из газосборника 11 непосредственно в теплообменник 17 для облегчения запуска в работу цилиндра 1 и регулирования величины угла опережения впрыска топлива 22 топливным насосом.

Клапан 24 служит также для сброса продуктов сгорания непосредственно в атмосферу при увеличении механической нагрузки на силовую турбину сверх допустимой для предотвращения остановки рабочих поршней ввиду большого давления в газосборнике 11.

Сгорание предварительно нагретого топлива 22 происходит при более высокой температуре, так как на испарение уже нагретого топлива расходуется меньше тепловой энергии выделяющейся при сгорании топлива. При этом повышается доля тепловой энергии от сгорания топлива, которая превращается в полезно используемую механическую работу. Воспламенение и сгорание топлива 22 происходит за меньший промежуток времени с начала его впрыска в цилиндр 1.

Пусковые пружины 26 выполняют роль резервных силовых элементов для запуска двигателя в случае отсутствия сжатого воздуха в баллонах пускового блока 16 или в случае неисправности его запорной арматуры. Пусковые пружины 26 размещены в корпусах на торцевых крышках буферных полостей 9 (на рис. корпуса и торцевые крышки позициями не обозначены). Для приведения пусковых пружин 26 в рабочее состояние осуществляется их предварительное сжатие за счет специальных торцевых упоров (на рис. упоры не показаны).

Плунжеры 27 пусковых пружин служат для передачи механической энергии сжатых пружин 26 поршням 8 и 2, а через них валику привода топливного насоса (на рис. валик и топливный насос не показаны) для осуществления рабочего процесса по воспламенению и сгоранию топлива. При непусковом нормальном рабочем режиме плунжеры 27 не контактируют с пружиной 26, так как для возврата поршней 2 и 8 к нижним мертвым точкам

используется сила давления воздуха, сжатого в буферных полостях 9.

Устройство работает следующим образом. Поршни 2 двигателя и поршни 8 компрессора посредством синхронизирующего механизма и зубчатых передач в ручную с помощью рукоятки разводятся в стороны к верхним (наружным) мертвым точкам и ставятся в первое пусковое положение с помощью фиксатора (на рис. синхронизирующий механизм, зубчатые передачи, рукоятка и фиксатор не показаны).

В буферную полость 9 из пускового блока 16 подается сжатый воздух 25 для пуска. Освобождается фиксатор синхронизирующего механизма и под воздействием силы давления сжатого воздуха поршни 2 и 8 движутся к нижней мертвой точке.

При отсутствии в пусковых баллонах давления сжатого воздуха реализуется резервный запуск двигателя с помощью пусковых пружин 26. Для этого вручную вначале производится предварительное сжатие пружин 26 с помощью специальных торцевых упоров (на рис. упоры не показаны).

Затем при помощи синхронизирующего механизма и зубчатых передач вручную с помощью рукоятки поршни 2 двигателя и поршни 8 компрессора дополнительно разводятся в стороны в положение верхних (наружных) мертвых точек до контакта плунжеров 27 с пружинами 26 и окончательного сжатия пусковых пружин 26. После этого синхронизирующий механизм с помощью фиксатора ставится во второе пусковое положение.

Для проведения запуска освобождается фиксатор синхронизирующего механизма, пружины 26 разжимаются и сила их механического давления передается через плунжеры 27 и далее на поршни 8 и 2. Под действием этой силы поршни движутся к нижней мертвой точке.

При движении поршней 8 к нижней мертвой точке воздух в компрессорных цилиндрах 28 сжимается и поступает через клапаны 7, через ресивер 10 и щели 3 в цилиндр 1. При последующем движении поршней 2 перекрываются продувочные 3 и выхлопные 4 щели. Оставшийся воздух в рабочем цилиндре 1 двигателя сжимается и температура его повышается.

При подходе поршней 2 к нижней мертвой точке через форсунку 5 впрыскивается топливо, происходит его самовоспламенение. Поршни 2 останавливаются. В рабочем цилиндре 1 двигателя образуются продукты сгорания с большим давлением и высокой температурой, которые, действуя на поршни 2, сообщают им движение в противоположные стороны – в направлении к верхним (наружным) мертвым точкам.

После пружинного запуска двигателя специальные торцевые упоры пружин 26 (на рис. упоры не показаны) ставятся в разгрузочное состояние, при котором пружины не сжаты.

При движении поршней 2 к верхним мертвым точкам происходит расширение продуктов сгорания и открытие вначале выхлопных 4 щелей, а

затем продувочных 3 щелей. Открытие выхлопных щелей 4 сопровождается подачей продуктов сгорания 21 в газосборник 11.

На стадии запуска в работу задвижка (на рис. не показана) на выходе из газосборника 11 закрыта, а клапан 24 открыт и продукты сгорания 21 подаются непосредственно в теплообменник 17 для ускорения нагрева топлива 22.

После запуска двигателя задвижка (на рис. не показана) на выходе из газосборника 11 открывается, а клапан 24 закрывается. При подаче продуктов сгорания 21 в турбину 12 начинает вращаться вал 18 привода нагнетателя воздуха 13 и осуществляется наддув компрессорных цилиндров 28 сжатым воздухом.

После воздушного запуска двигателя закрываются вентили подачи сжатого воздуха из блока 16 к пусковым клапанам 23.

После турбины 12 продукты сгорания 21 поступают в силовую турбину 14, в которой происходит окончательный отбор полезной механической энергии за счет расширения продуктов сгорания.

При открытии продувочных щелей 3 происходит заполнение цилиндра 1 чистым воздухом из ресивера 10 и удаление остаточных продуктов сгорания через щели 4.

При движении поршней 8 к верхним мертвым точкам происходит сжатие воздуха в буферных полостях 9 до давления, с помощью которого осуществляется возврат поршней 8 и 2 к нижним мертвым точкам и повторение цикла.

Вывод

Преимущества СПД:

- организация и условия протекания рабочего процесса в СПД обеспечивают высокие КПД и динамические показатели при отсутствии дымления (сажи) (преимущества свободного поршня в дизеле заключаются в оптимальном теплоподводе, отсутствии ограничений на жесткость и максимальное давление цикла, высокий механический КПД, незначительный (до 10%)

провал коэффициента избытка воздуха при набросе нагрузки);

- многотопливность, возможность применения низкосортных альтернативных топлив и газов произвольного состава, включая сбросные и тощие (содержание метана более 10 – 20 % без потери мощности) с воспламенением от сжатия;

- динамическая уравновешенность, отсутствие вибраций и фундамента;

- низкие затраты при эксплуатации и ремонте;

- высокие пусковые качества при низких температурах;

- возможность отключения одного или нескольких СПД без остановки остальных;

- возможность повышения давления наддува и максимального давления сгорания;

- простота, надежность и технологичность конструкции;

- удобство компоновки в пространстве.

Модульный принцип компоновки.

Удельная массовая и габаритная мощность в 4 – 9 раз выше дизелей.

Литература

1. Таймаров М.А. Повышение эффективности работы энерготехнологических печей. Монография. *Научное издание. Казань, КГЭУ, 2010. 108 с.*
2. Таймаров М.А., Сафин Р.Г. Форсунка для сжигания обводнённого мазута. Вестник Казанского Технологического Университета Herald of Kazan Technological University, 2012, Т. 15, №16, с.144-14
3. Тимербаев Н.Ф., Сафин Р.Г., Садртдинов А.Р. Моделирование процесса очистки дымовых газов, образованных при сжигании органических отходов. Вестник КТУ, 2010, №11, с.243-246
4. Тимербаев Н.Ф., Сафин Р. Г., Хисамеев А.Р. Газификация органических топлив. Вестник КТУ, 2011, №1, с.326-329
5. Таймаров М.А., Шарипов М.Р. Котёл пульсирующего горения природных и пиролизных газов. Вестник КТУ, 2013, №21, с133-136
6. Таймаров М.А., Шарипов М.Р. Двухконтурный настенный газовый котёл. Вестник КТУ, 2013, №23, с122-125