

МАШИНА СТИРЛИНГА ПЕРСПЕКТИВНАЯ ЭЛЕКТРОГЕНЕРИРУЮЩАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ МАЛОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

С.С. Борщев, магистрант, В.В. Гречушников, магистрант
Национальный исследовательский Томский политехнический университет
г. Томск, Россия

Двигатель Стирлинга был запатентован почти двести лет назад шотландским священником Робертом Стирлингом. Двигатель отличается высокой надежностью. Тем не менее, он уступал по удельной мощности двигателям Отто и Дизеля. Это привело к постепенному вытеснению двигателя Стирлинга из промышленности[1].

Довольно долго двигатели Стирлинга использовались лишь как игрушки и учебные пособия в школах и университетах при изучении термодинамики. Но в последние годы интерес к двигателю Стирлинга быстро возрастает.

В процессе истории развития стирлинг машин появилось множество конструкций и модификаций двигателей Стирлинга. Мы кратко пройдемся по упрощенной классификации альфа-тип, бета-тип и гамма-тип, а также рассмотрим нестандартные типы стирлинг-машин.

Альфа-тип стирлинга имеет два цилиндра, соединенные между собой через последовательно смонтированные нагреватель, регенератор и охладитель. Либо нагревают и охлаждают сами цилиндры, но это менее эффективный способ. Шатуны поршней закреплены на общем коленчатом вале. Осевой разнос цилиндров - 90 градусов - так обеспечивается смещение фаз.

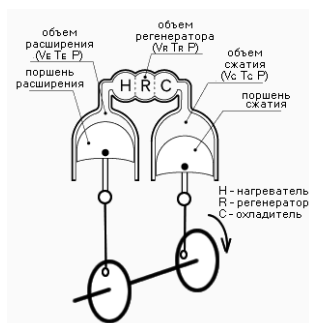


Рисунок 1. Двигатель Стирлинга альфа-типа

Рабочее тело нагревается в горячем цилиндре или нагревателе (на схеме он обозначен как цилиндр расширения). Давление в системе увеличивается. Усилие передается на поршень холодного цилиндра (на схеме - поршень сжатия). Он смещается, проворачивая коленвал. Одновременно поршень горячего цилиндра начинает выталкивать рабочее тело в холодный цилиндр через регенератор. Регенератор отбирает часть тепла рабочего тела и при перемещении рабочего тела обратно в горячую полость сообщает ему часть тепловой энергии перед последующим нагревом. За счет этого экономится часть подводимой к двигателю теплоты.

Поэтому регенератор является ключевым агрегатом, повышающим КПД двигателей Стирлинга. Это одна из главных заслуг Роберта Стирлинга. Его первый патент оформлен именно на регенератор, а не на двигатель!

Недостатки стирлингов альфа-типа: В двухцилиндровом альфа-стирлинге полость сжатия разделена на части, находящиеся в вытеснительном и рабочем цилиндрах, включая и соединительный канал. Поршни соединены с разномом фаз 90 градусов, по этому суммарный объем полости сжатия в двигателе никогда не достигает нулевого значения за цикл. Поскольку объем этих полостей никогда не может быть уменьшен до нуля, полость сжатия, фактически, имеет большой нерабочий объем». Менее существенным недостатком, присущим всем стирлингам является "мертвый объем", образуемый нагревателем, регенератором и холодильником, а также магистралями, соединяющими их с цилиндрами.

Определенные сложности вызывает смазка и обеспечение герметичности поршней. В основном данная проблема остро встает при увеличении рабочего давления в двигателе[3].

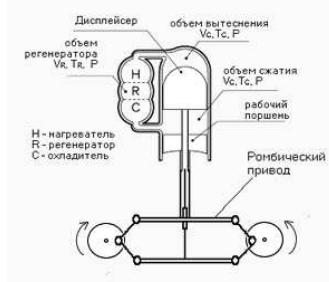


Рисунок 2. Двигатель Стирлинга бета-типа

Бета-тип Стирлингов решает проблему нерабочего объема за счет иной конструкции. В данном двигателе используется один цилиндр, но с двумя поршнями - дисплейсером и рабочим поршнем, расположенными первый над вторым по оси цилиндра. Шток дисплейсера проходит через крышку рабочего поршня и внутри его штока. Для обеспечения герметичности используются сальники. С одного края к цилиндру подводят тепло, с другой - охлаждают (на схеме зоны нагрева, регенерации и охлаждения вынесены в отдельный агрегат). Стенки рабочего поршня плотно прилегают к цилиндру. Дисплейсер - напротив - свободно движется в рабочем цилиндре. Дисплейсер выполнен из материала, имеющего низкую теплоемкость и выполняет роль "теплового клапана". Он перемещает рабочее тело из горячей полости цилиндра в холодную и обратно, препятствуя наступлению термодинамического равновесия переноса тепла в системе. Рабочее тело либо нагревается (дисплейсер при этом находится в нижней мертвой точке), либо охлаждается (дисплейсер - в верхней мертвой точке). За счет этого обеспечивается циклический перепад давления в системе, преобразуемый затем рабочим поршнем в полезную работу. "Мертвый объем" в данной конструкции практически такой же, как и в альфа-типе. Нерабочий объем минимизирован за счет размещения вытеснителя и рабочего поршня в одном цилиндре, что позволяет выиграть в мощности на единицу объема двигателя. На практике, в более сложных конструкциях стирлингов бета-типа используют трубчатые нагреватели, вваренные в торец горячей полости цилиндра[6]. Это единственный конструктивный элемент, образующий незначительный "мертвый объем", но такие модификации относительно сложны в изготовлении. Сложность изготовления и обеспечения смазки и герметичности в сальниках бета-стирлингов - **основной их недостаток**. В остальном - идеальная компоновка при минимальных габаритах. Все разработанные прототипы стирлингов для автотранспорта спроектированы, как бета-стирлинги[1].

Гамма-стирлинги - компромисс между альфа- и бета- модификациями. В конструкции присутствуют два цилиндра, как в "альфе" и применяется дисплейсер - как в "бете". Один цилиндр является чисто теплообменным, другой чисто рабочим. К одному торцу теплообменного цилиндра подводят тепло, другой - охлаждают. Стенки цилиндра изготавливают из материала с низкой теплопроводностью, торцы - наоборот - с высокой. Внутри цилиндра размещен дисплейсер, шток которого через сальник крепится к коленчатому валу. Разность фаз движения также - 90 градусов. Таким образом образуются холодная и горячая полость, разделенные "тепловым клапаном". Теплообменный цилиндр соединен с рабочим через регенератор.

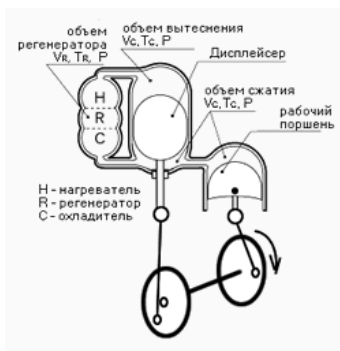


Рисунок 3. Двигатель Стирлинга гамма-типа

К недостатку данной модификации можно причислить все тот же нерабочий объем, как и у двухцилиндровой "альфы" и относительно большие габариты, хотя для стационарных стирлингов это не существенно. Главная популярность конструкции заключается в простоте изготовления. Гамма-стирлинг может изготовить любой желающий даже в кустарных условиях[3].

- **Преимущества двигателей наружного сгорания**

1. «Всеядность» двигателя — как все двигатели внешнего сгорания (вернее — внешнего подвода тепла), двигатель Стирлинга может работать от почти любого перепада температур: например, между разными слоями воды в океане, от солнца, от ядерного или изотопного нагревателя, угольной или дровяной печи и т. д.

2. Простота конструкции — конструкция двигателя очень проста, он не требует дополнительных систем, таких как газораспределительный механизм. Он запускается самостоятельно и не нуждается в стартере. Его характеристики позволяют избавиться от коробки передач.

3. Увеличенный ресурс — простота конструкции, отсутствие многих «нежных» узлов позволяет «стирлингу» обеспечить небывалый для других двигателей запас работоспособности в десятки и сотни тысяч часов непрерывной работы.

4. Экономичность — для утилизации некоторых видов тепловой энергии, особенно при небольшой разнице температур, «стирлинги» часто оказываются самыми эффективными видами двигателей. Например, в случае преобразования в электричество солнечной энергии «стирлинги» иногда дают больший КПД (до 31,25 %), чем тепловые машины на пару.[2]

5. Бесшумность двигателя — «стирлинг» не имеет выхлопа, а значит уровень его шума гораздо меньше, чем у поршневых двигателей внутреннего сгорания. Бета-стирлинг с ромбическим механизмом является идеально сбалансированным устройством и, при достаточно высоком качестве изготовления, имеет предельно низкий уровень вибраций (амплитуда вибрации меньше 0,0038 мм).

6. Экологичность — сам по себе стирлинг не имеет каких-то частей или процессов, которые могут способствовать загрязнению окружающей среды. Он не расходует рабочее тело. Экологичность двигателя обусловлена прежде всего экологичностью источника тепла. Стоит также отметить, что обеспечить полноту сгорания топлива в двигателе внешнего сгорания проще, чем в двигателе внутреннего сгорания.

- **Недостатки двигателей наружного сгорания**

1. Громоздкость и материалоёмкость — основной недостаток двигателя. У двигателей внешнего сгорания вообще, и двигателя Стирлинга в частности, рабочее тело необходимо охлаждать, и это приводит к существенному увеличению массо-габаритных показателей силовой установки за счёт увеличенных радиаторов[4].

2. Для получения характеристик, сравнимых с характеристиками ДВС, приходится применять высокие давления (свыше 100 атм) и особые виды рабочего тела — водород, гелий.

3. Тепло подводится не к рабочему телу непосредственно, а только через стенки теплообменников. Стенки имеют ограниченную теплопроводность, из-за чего КПД оказывается ниже, чем можно было ожидать. Горячий теплообменник работает в очень напряжённых условиях теплопередачи, и при очень высоких давлениях, что требует применения высококачественных и дорогих материалов. Создание теплообменника, который удовлетворял бы противоречивым требованиям, весьма трудно. Чем выше площадь теплообмена, тем больше потери тепла. При этом растёт размер теплообменника и объём рабочего тела, не участвующий в работе. Поскольку источник тепла расположен снаружи, двигатель медленно откликается на изменение теплового потока, подводимого к цилиндру, и не сразу может выдать нужную мощность при запуске.

4. Для быстрого изменения мощности двигателя используются способы, отличные от тех, которые применялись в двигателях внутреннего сгорания: буферная ёмкость изменяемого объёма, изменение среднего давления рабочего тела в камерах, изменение фазного угла между рабочим поршнем и вытеснителем. В последнем случае отклик двигателя на управляющее действие водителя является почти мгновенной.

В настоящее время рядом зарубежных фирм (Philips, STM Inc., Daimler Benz, Solo, United Stirling) начато производство двигателей Стирлинга, технические характеристики которых уже сейчас превосходят ДВС и газотурбинные установки. Эти двигатели имеют эффективный КПД (до 45 %), удельную массу от 3,8 до 1,2 кг/кВт, ресурс до 40 тыс. ч и мощность от 3 до 1200 кВт[5].

В России из-за общего экономического спада разработкой машин Стирлинга на государственном уровне никто не занимается, хотя до 1990 года исследования в этой области техники проводились в пятнадцати организациях военно-промышленного комплекса[2].

Учитывая, что в настоящее время в России практически отсутствует серийное производство конкурентоспособных энергетических установок мощностью от 1 до 50 кВт, производство высокоэффективных и экологически чистых машин Стирлинга - наиболее перспективное направление в развитии отечественного машиностроения. Маркетинговые исследования показывают, что емкость отечественного рынка энергетических установок данного мощностного ряда составляет до 60 тысяч установок в год. Основными областями применения энергетических установок с двигателями Стирлинга в России могут стать когенерация с использованием местного топлива; автономные источники для нефтегазового комплекса, включая катодную защиту; автономные источники для ЖКХ населенных пунктов; использование бросовой теплоты отработанных газов котельных установок и транспортных средств; анаэробные установки.

Список использованных источников

1. Двигатель Стирлинга // Википедия. [2011—2014]. Дата обновления: 29.08.2011. URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/Двигатель_Стирлинга (дата обращения: 22.04.2014).
2. Subscribe.ru, информационный канал [Электронный ресурс] URL: <http://subscribe.ru/archive/media.news.press.epr/200909/25060603.html>, свободный. – Загл. с экрана (дата обращения: 22.04.2014).
3. Стирлинг машины [Электронный ресурс] URL: <http://www.stirlingmotors.ru/Konstrukzion.htm>, свободный. — Загл. с экрана (дата обращения: 22.04.2014).
4. Журнал Альтернативный киловатт [Электронный ресурс] URL: <http://www.akw-mag.ru/content/view/54/35/>, свободный. – Загл. с экрана (дата обращения: 22.04.2014).
5. CNews RnD наука и техника [Электронный ресурс] URL: http://rnd.cnews.ru/tech/news/top/index_science.shtml?2008/02/14/288142, свободный. – Загл. с экрана (дата обращения: 22.04.2014).
6. Г. Уокер "Машины, работающие по циклу Стирлинга" М.: 1978 г.