Муниципальное бюджетное общеобразовательное учреждение «Средняя общеобразовательная школа №54 с углубленным изучением отдельных предметов» Авиастроительного района г. Казани

Исследовательская работа

на тему

«Двигатель Стирлинга»

Выполнила: ученица 10А класса

МБОУ «Школа №54»

Нуриева Алина Данисовна

Руководитель:

Хакимулина Нафиса Минхаировна,

учитель физики МБОУ «Школа №54»

Казань, 2022 г.

Содержание

Введение……...……..3

Глава 1……..……

1.1. Двигатель Стирлинга. Основные понятия…….....4

1.2. История двигателя Стирлинга……...5

1.3. Составные части двигателя…….…….....6

1.4. Преимущества и недостатки модели…..…….....7

1.5. Применение двигателя…… ……...8

Глава 2……

2.1. Этапы сборки……8

2.2. Процесс работы двигателя. Вычисление
КПД……..……10

Глава 3……

8. Выводы……..11

9. Заключение…….....11

10. Список используемой литературы……12

Введение

Двигатели Стирлинга могут применяться для превращения в электроэнергию любой теплоты. На них возлагают надежды по созданию солнечных электроустановок. Их применяют как автономные генераторы для туристов. Некоторые предприятия выпускают генераторы, которые работают от конфорки газовой печи. NASA рассматривает варианты генераторов на основе «стирлинга», работающие от ядерных и радиоизотопных источников тепла

Цель работы: создать двигатель Стирлинга, проанализировать устройство его работы.

Задачи:

1.Изучить теорию о двигателе Стирлинга

2.Создать модель двигателя Стирлинга

3.Провести испытание модели

4.Объяснить происходящие процессы и принцип работы

5.Вычислить коэффициент полезного действия

6.Определить результативность двигателя

Методы исследования:

- Сбор и обработка информации
- Поиск наиболее оптимального вида материала для создания конструкции
- Создание модели двигателя Стирлинга
- Наблюдение за работой двигателя
- Изучение параметров, полученных при создании модели
- Анализ результатов исследования

Практическая значимость: данный двигатель применяется для преобразовния небольшого количества тепловой энергии.

Гипотеза: двигатель Стирлинга возможно создать в домашних условиях из подручных средств, без применения специальных технологий.

Двигатель Стирлинга. Основные понятия

Двигатель Стирлинга — тепловая машина, в которой жидкое или газообразное рабочее тело движется в замкнутом объёме, разновидность двигателя внешнего сгорания. Основан на периодическом нагреве и охлаждении рабочего тела с извлечением энергии из возникающего при этом изменения объёма рабочего тела. Обычно в роли рабочего тела выступает воздух, но также используются водород и гелий. Может работать не только от сжигания топлива, но и от любого источника тепла.

Инженеры подразделяют двигатели Стирлинга на три различных вида:

- α-**Стирлинг**

  Этот двигатель включает в себя два отдельных рабочих поршня. Каждый поршень расположен в отдельном цилиндре. Холодный цилиндр находится в теплообменнике, а горячий нагревается.

- β-**Стирлинг** с ромбическим механизмом и регенератором

  Цилиндр с поршнем охлаждается с одной стороны, и нагревается с противоположной стороны. В цилиндре перемещается силовой поршень и вытеснитель, служащий для уменьшения и увеличения объема рабочего газа. Регенератор выполняет обратное перемещение остывшего газа в нагретое пространство двигателя

- γ-**Стирлинг** без регенератора

  Вся система состоит из двух цилиндров. Первый цилиндр весь холодный. В нем перемещается рабочий поршень, Второй цилиндр с одной стороны нагретый, а с другой – холодный, и предназначен для передвижения вытеснителя. Регенератор для перекачки охлажденного газа может являться общим для двух цилиндров, либо может быть включен в устройство вытеснителя.

  По закону термодинамики известно, что давление, температура и объём идеального газа взаимосвязаны и следуют закону $pV=nRT$ (уравнение состояния идеального газа) где:

  p — давление газа;

  V — объём газа;

  n — количество газа;

  R — универсальная газовая постоянная;

  T — температура газа в кельвинах.

Это означает, что при нагревании газа его объём увеличивается, а при охлаждении — уменьшается. При нагревании газ совершает работу (например, толкает поршень) и охлаждается. Сжать охлажденный газ проще, чем удержать расширяющийся горячий (на сжатие холодного газа «расходуется» меньше работы, чем высвобождается работы при нагревании и расширении того же самого газа). Это свойство газов и лежит в основе работы двигателя Стирлинга.

История двигателя Стирлинга

В XIX веке инженеры хотели создать безопасную замену паровым двигателям того времени, котлы которых часто взрывались из-за высоких давлений пара и неподходящих материалов для их постройки. Идеальное решение предложил священник Роберт Стирлинг, двигатель которого мог преобразовывать в работу любую разницу температур.

Стирлинг был весьма обеспокоен травматизмом рабочих, работающих в его приходе с паровыми двигателями. Эти двигатели часто взрывались из-за низкого качества металла, из которого они изготавливались. Более прочного материала в те годы не существовало. Стирлинг решил усовершенствовать конструкцию теплового двигателя сделав его более безопасным.

Стирлинг придумал устройство, которое он назвал «эконом тепла» (сейчас такое устройство называют регенератором или теплообменником). Это устройство служит для повышения тепловой эффективности различных процессов. Стирлинг получил патент на двигатель с «экономом тепла» в 1816 году. Двигатель Стирлинга не может взорваться, потому что работает при более низком давлении, чем паровая машина, и не может причинить ожоги паром. В 1818 он построил первый практичный вариант своего двигателя и использовал его в насосе для откачки воды из карьера.

Составные части двигателя

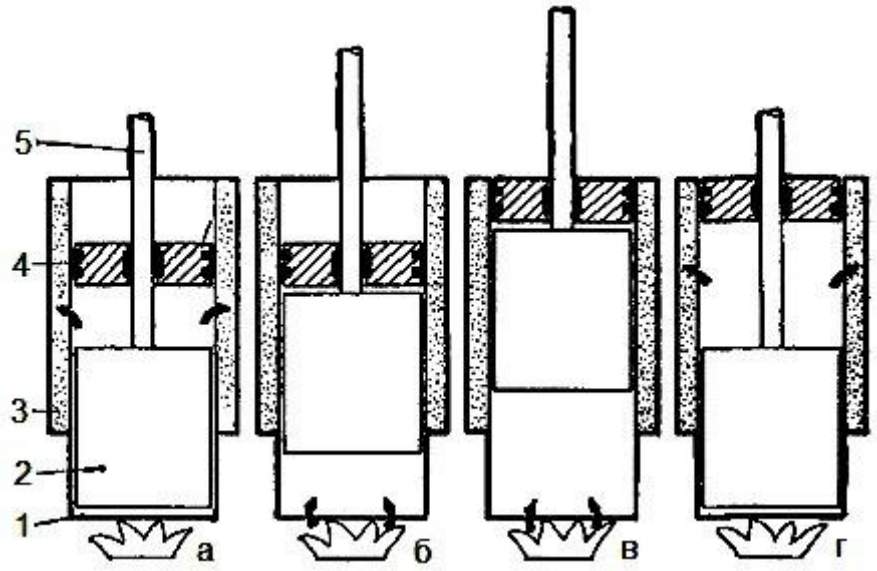
В цилиндре тепловой машины воздух перед расширением нагревался, перед сжатием охлаждался. Вверху цилиндра 1 находится водяная рубашка 3, дно цилиндра непрерывно нагревается огнем. В цилиндре расположен рабочий поршень 4, имеющий уплотнительные кольца. Между поршнем и дном цилиндра расположен вытеснитель 2, передвигающийся в цилиндре со значительным зазором.

Воздух, находящийся в цилиндре, перекачивается вытеснителем 2 к дну поршня или цилиндра. Вытеснитель движется под действием штока 5, проходящего через уплотнение поршня. Шток в свою очередь приводится в действие эксцентриковым устройством, вращающимся с запаздыванием на 90 градусов от привода поршня.

В позиции «а» поршень расположен в нижней точке, а воздух находится между поршнем и вытеснителем, охлаждается стенками цилиндра.

В следующей позиции «б» вытеснитель перемещается вверх, а поршень остается на месте. Воздух, находящийся между ними, выталкивается ко дну цилиндра, охлаждаясь.

Позиция «в» — рабочая. В ней воздух нагревается дном цилиндра, расширяется и поднимает два поршня к верхней мертвой точке. После выполнения рабочего хода вытеснитель опускается ко дну цилиндра, выталкивая воздух под поршень, и охлаждаясь.



В позиции «г» охлажденный воздух готов к сжатию, и поршень перемещается от верхней точки к нижней. Так как работа сжатия охлажденного воздуха меньше, чем работа расширения нагретого воздуха, то образуется полезная работа. Маховик при этом служит своеобразным аккумулятором энергии.

Преимущества и недостатки модели

Преимущества

1. **Минимальный вред для окружающей среды.** Сгорание топлива происходит вне внутреннего объема двигателя (в отличии от ДВС), что позволяет обеспечить равномерное горение топлива и полное его дожигание (т.е. отбор максимума содержащейся в топливе энергии, и минимизация выброса токсичных компонентов)
2. **В качестве топлива может использоваться любой источник тепла.**
3. **Широкий спектр возможного применения.**
4. **Большая потенциальная мощность.** КПД двигателя Стирлинга может достигать 65-70% КПД от цикла Карно при современном уровне проектирования и технологии изготовления. Кроме того, крутящий момент двигателя почти не зависит от скорости вращения коленвала. В двигателях внутреннего сгорания напротив максимальный крутящий момент достигается в узком диапазоне частот вращения.
5. **Простота конструкции.**
6. **Увеличенный ресурс.** Двигатель не будет "капризничать" из-за потери искры, засорившегося карбюратора или низкого заряда аккумулятора, поскольку не имеет этих агрегатов. Понятие "двигатель заглох" не имеет смысла для Стирлингов. Стирлинг может остановиться, если нагрузка превышает расчетную. Повторно запуск осуществляется однократным проворотом маховика коленчатого вала.
7. **Бесшумность.**

Недостатки

1. **Ресурсоёмкость.** Основной недостаток двигателя. У двигателей внешнего сгорания в общем, и двигателя Стирлинга в частности, рабочее тело необходимо охлаждать, и это приводит к существенному увеличению массогабаритных показателей силовой установки за счёт увеличенных радиаторов.
   Для получения характеристик, сравнимых с характеристиками ДВС, приходится применять высокие давления (свыше 100 атомов) и специальные виды рабочего тела — водород, гелий
2. **Тепло не подводится к рабочему телу непосредственно.** Из-за чего КПД оказывается ниже, чем можно было ожидать

Применение двигателя

Двигатель Стирлинга применим в случаях, когда необходим компактный преобразователь тепловой энергии, простой по устройству, либо, когда эффективность других тепловых двигателей оказывается ниже: например, если разницы температур недостаточно для работы паровой или газовой турбины.

Сегодня исследования установок Стирлинга для подводных, космических и других установок, а также проектирование основных двигателей проводятся во многих зарубежных странах. Такой высокий интерес к моторам Стирлинга стал итогом интереса общественности в борьбе с загрязнением атмосферы, шумом и сохранением природных энергетических источников.

Двигатели Стирлинга могут применяться для превращения в электроэнергию теплоты солнечных электроустановок.

Их применяют как автономные генераторы для туристов. Некоторые предприятия выпускают генераторы, которые работают от конфорки газовой печи.

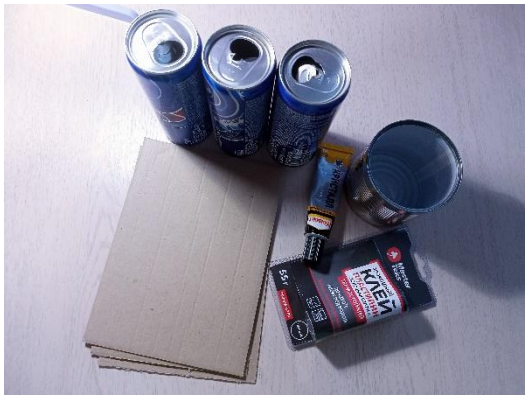
Преимущества «Стирлинга» привели к тому, что во второй половине XX века военно-морской флот Швеции и Японии указывали на возможность установки на подводных лодках воздухонезависимых двигателей Стирлинга.

NASA рассматривает варианты генераторов на основе «Стирлинга», работающие от ядерных и радиоизотопных источников тепла.

Этапы сборки

Двигатель внешнего сгорания Стирлинга, использует одноимённую совокупность явлений. Эффект от протекающего действия в механизме высок. Благодаря этому есть возможность сконструировать двигатель с неплохими характеристиками в рамках нормальных габаритов.

Для сборки конструкции необходим цилиндр, в виде алюминиевой банки, объемом 330 мл. Цилиндр обрезается до высоты 90 мм, с учетом отсутствия неровностей на кромке банки, для сохранения прочности алюминия. Днище детали необходимо прогнуть, чтобы оно не выступало во внутреннюю часть цилиндра.



Далее вырезается заглушка цилиндра, высотой 25 мм. По ее центру необходимо просверлить отверстие, диаметром 5 мм.

Вытеснитель изготавливается из двуслойного картона, на котором вырезаются два диска, диаметром 60 мм, и полоска картона длиной 180 мм и шириной 35 мм. К одному из дисков привязывается рыболовная леска, ко второму необходимо приклеить грузик. Внешний слой с одной стороны картонной полоски снимается. Далее объединяются 3 детали, путем склеивания их в каркас в виде коробки. Следующим шагом каркас обтягивается пищевой фольгой, с избеганием открытых щелей между картоном.

Основная задача вытеснителя заключается в поочередном перемещении рабочего тела из противоположных концов цилиндра (имеющих разную температуру). Вымещение воздуха происходит за счет собственного объема вытеснителя. Необходимо добиться максимальной герметичности конструкции.

Далее изготавливается герметизирующая втулка. Используется пластиковая карта, на которой намечается окружность диаметром 30 мм. По середине окружности прокалывается отверстие, через которое должна пройти леска. Нужно придерживаться двух конечных целей:

1) Перемещаемая через втулку леска должна иметь свободный ход, с максимально низким трением.
2) Втулка не должна пропускать через себя воздух. Так как Стирлинги со слабой компрессией очень чувствительны даже к малозаметным утечкам рабочего тела.

Втулка фиксируется с внутренней стороны заглушки цилиндра ровно по центру. Место состыковки элементов заливается цельным слоем жидкого герметика.

Поверх заглушки размещается барьер в виде цилиндра, для избегания попадания воды из резервуара охлаждения на втулку.

Далее заглушка вставляется в цилиндр. Она должна расположиться на таком уровне, при котором ход вытеснителя от верхней до нижней точки будет составлять 26 мм.

В качестве стоек, удерживающих коленвал, используются две деревянные линейки. Одна из них приклеивается на высоте 30 мм от дна цилиндра.

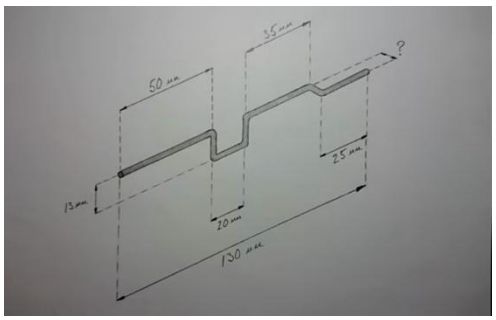
Силовой частью мотора служит диафрагменная поршневая, за основу которой взят баллончик диаметром 35 мм и высотой 30 мм. Сбоку проделывается отверстие под соединительную трубку диаметром 5 мм. Такое же отверстие проделывается в цилиндре на высоте 20 мм от верхнего его края. Поршневая основа монтируется на стойке с помощью холодной сварки.

Соединительная трубка клеится к поверхности цилиндра и отверстию на диафрагменной поршневой.

В поршневой основе вырезается клапан сброса излишнего давления. Поршень состоит из 23 мм крышки и 20 мм пластиковой шайбы, между которыми зажимается мембрана. Мембрана натягивается на поршневую основу.

Необходимо провести эксперимент, нагрев цилиндр, нужно измерить амплитуду хода поршня при перемещении вытеснителя.

Коленвал изготавливается из алюминиевой спицы диаметром 3 мм. Из нее выгибается конструкция. Из скрепки изготавливается крючок, который крепится на середин коленвала. На крючок привязывается конец лески.



Над поршнем устанавливается шатун.

Маховое колесо изготавливается из алюминиевой банки, в его центр крепится грузик и колесо устанавливается на конце коленвала.

Процесс работы двигателя. Вычисление КПД

Все термодинамические процессы, происходящие в Стирлинге базируются на основной формуле термодинамики - уравнении состояния идеального газа: $PV=\nu RT$. Все процессы протекают с изменением давления, температуры и объема.

Давление P

При нагревании на 1 градус газ увеличивает свой объем на 1/273 часть от первоначального. Зная все это можем вычислить мгновенное давление, возникающее при нагревании газа в нашем двигателе Стирлинга.

P=(V/273)T

КПД такого двигателя чуть более 30%. Число оборотов за минуту равно примерно 50. Число оборотов можно увеличить уменьшив расстояние между главным поршнем и вытеснителем, но при этом уменьшается крутящий момент.

КПД можно увеличить за счёт уменьшения расстояния между вытеснителем и верхним основание двигателя.

За минуту двигатель совершает 108 оборотов. Температура горения свечи, используемой в двигателе, равна 800 С.

Теория Шмидта для расчета Стирлинга

Теория Шмидта — один из изотермических методов вычисления для Стирлинг-двигателей. Эта теория основана на изотермическом расширении и сжатии идеального газа.

Работа двигателя может быть рассчитана по диаграмме P-V (P-давление, V — объем). Объем в двигателе легко рассчитать, используя внутреннюю геометрию. Когда объем, масса рабочего газа и температуры решен, давление рассчитывается по формуле: PV=mRT.
Рабочее давление может быть рассчитано согласно следующим предположениям:

- мгновенные значения давлений в системе одинаковы.
- условия состояния установившиеся.
- Состояния газа (рабочего тела) рассматриваются, как идеальный газ.
- имеется совершенная регенерация.
- При расширении мертвый объем не меняет температуру газа расширения — T E, при сжатии, мертвый объем не меняет температуру газа сжатия – T C в течение цикла.
- температура газа в регенераторе – равна среднему арифметическому между температурой расширяемого газа – T E и температурой сжимаемого газа – T C .
- объем расширения – V C и объем сжатия – V E при движении поршней изменяются согласно кривым синуса.

Находим объем цилиндра по формуле

$$V = \pi R^2 h$$

Откуда получаем объем равный 265,33 м3.

По формуле m=Vp находим массу рабочего тела.

P=1,2754 кг/м3

m=338,4 кг

Вычисляем количество газа, по формуле n=V/Vм

n=11.85 моль

Воспользовавшись уравнением состояния идеального газа находим давление.

P= mRT/V

P=0.4 кПа

Далее с помощью формулы работы A=pV

A=106.132 дж

Количество теплоты, отданное свечей, равно 1394.9 дж

КПД двигателя составляет 0,076 или 8%.

Выводы

Двигатель Стирлинга является экологичным вариантом двигателей, однако он имеет достаточное количество минусов, что не дает ему возможности войти в широкое применение. Одним из них, как выяснилось в результате исследования, является его чувствительность к малейшим утечкам воздуха. Также, необходимы весьма точные замеры, что делает массовое производство проблематичным.

Заключение

Распространенные в настоящее время двигатели внутреннего сгорания имеют целый ряд недостатков: их работа сопровождается шумом, вибрациями, они выделяют вредные отработавшие газы, загрязняю тем самым нашу природу, и потребляют много топлива. Но на сегодняшний день альтернатива им уже существует. Класс двигателей, вред от которых минимален, - двигатели Стирлинга. Они работают по замкнутому циклу, без непрерывных микровзрывов в рабочих цилиндрах, практически без выделения вредных газов, да и топлива им требуется гораздо меньше.

Изобретенные задолго до двигателя внутреннего сгорания и дизеля, двигатель Стирлинга был незаслуженно забыт.

Настоящий же интерес к двигателю Стирлинга возродился только во времена так называемого “энергетического кризиса”. Именно тогда особенно привлекательными показались потенциальные возможности этого двигателя в отношении экономического потребления обычного жидкого топлива, что представлялось весьма важным в связи с ростом цен на топливо.

Список литературы

1. Отраслевое машиностроение. – Т. 6. – С. 10-13. 2. Кукис, В. С. Энергетические установки с двигателем Стирлинга в качестве утилизатора тепловых потерь : учеб. пособие / В. С. Кукис. – Челябинск : ЧВВАИУ, 1997. – 127 с.

2. Романов, В. А. Каталитический нейтрализатор с повышенной надежностью и эффективностью снижения вредных выбросов / В. А. Романов, В. С. Кукис // Научный вестник ЧВВА- КИУ. – Вып. 18. – Челябинск : ЧВВАКИУ, 2006. С. 102-104.

3. Романов, В. А. Первичный двигатель стирлинг- электрического генератора для утилизации те- плоты отработавших газов поршневых ДВС / В. А. Романов, В. С. Кукис // Материалы II съезда инженеров Сибири (20-21 марта 2008). – Ч. 2. – Омск: Изд-во ОМГТУ, 2008. – С. 137- 143.

4. Романов, В. А. Применение двигателей Стирлинга для обеспечения электрической автономности генераторов теплоты колесных и гусеничных машин / В. А. Романов // Ремонт: Методические рекомендации по ремонту бронетанкового вооружения и техники и автомобильной техники. – СПб. : 29 КТЦ. – №132, 2006. – С. 49-54.

5. Стефановский, Б.С. Некоторые особенности нагрева и охлаждения рабочего тела в течение рабочего цикла двигателя с внешним подводом теплоты модификации «гамма» / Б. С. Стефановский, А. Б. Стефановский, Ю.