

Научно-исследовательская работа
Физика

«Модель двигателя Стирлинга»

Выполнила
Архипова Ольга Алексеевна
Учащаяся 11 класс
МБОУ «СОШ №46», Россия, г. Калуги

Руководитель:
Иванова Татьяна Анатольевна
учитель физики
МБОУ «СОШ №46», Россия, г. Калуги

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ.....	4
СОЗДАНИЕ ДВИГАТЕЛЯ СТИРЛИНГА.....	8
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	13
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	14
ПРИЛОЖЕНИЕ	15

ВВЕДЕНИЕ

Во всех полетах за орбиту Марса перед разработчиками миссий неизбежно встает «энергетический вопрос». В поясе астероидов интенсивность солнечного света в пять раз ниже, чем на земной орбите. Около Сатурна батареи категорически откажутся обеспечивать энергией любые зонды. Обычно для решения этой проблемы в ход идут радиоизотопные источники, но их использование затруднительно из-за дефицитности плутония-238, который лежит в основе работы этих источников. Кроме этого их КПД очень низкий и достигается далеко не при всех условиях.

Для решения этой проблемы была представлена новая концепция усовершенствованного радиоизотопного генератора Стирлинга. Разница лишь в том, что теплоноситель находится внутри двигателя и разогревается снаружи, из-за чего у двигателя нет выхлопных газов. При имеющемся плутониевом источнике тепла «стирлинг» будет действовать практически без расхода горючего.

Если верить отчету Национального исследовательского совета, эффективность УРГС как минимум в четыре раза выше, чем у термоэлектрического генератора, - с КПД, достигающим до 38%. При этом масса самого генератора не превышает 1,3 кг – при совокупной тепловой и электрической мощности, достигающей 140 Вт.

Многие люди интересуются космосом и полетами в космос, но для них эта тема остается непонятной. Это подтолкнуло меня к созданию модели двигателя Стирлинга, цель которой – ознакомить общество с принципом работы теплового двигателя, который используется в космических аппаратах. В мои задачи входит изучить принцип действия двигателя Стирлинга, создать на основе изученного материала модель двигателя Стирлинга.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

1.2 История создания двигателя Стирлинга

Двигатель Стирлинга был изобретен в 1816 г., приблизительно за 80 лет до дизеля, и пользовался значительной популярностью до начала XX в. [2, с. 148]

В первой половине 19 века, в Европе произошли большие перемены в сфере технологий экономики и общественного порядка. На заре индустриальной революции, условия труда были ужасными. В угольных шахтах появились новые паровые машины, приводящие в действие насосы, которые откачивали воду. Уровень смертности был высок. Котлы часто взрывались, унося много жизней. Среди жертв были шестилетние дети, вынужденные работать в шахте. Стремясь сделать жизнь шахтеру безопаснее и легче, Роберт Стирлинг хотел создать машину, работающую при меньшем давлении и без опасного пара. Хотя принципы термодинамики еще не были известны, Стирлинг знал, что газ расширяется в тепле и сжимается в холоде. Это можно показать на простом опыте- если закрыть бумажной крышкой банку с горячим вареньем, воздух внутри будет горячим. Он расширится и крышку выгонит наружу. Но если поставить банку в холодную воду, воздух внутри остынет, сожмется и крышка втянется внутри. Стирлинг хотел создать машину, основанную на этом свойстве газов. Ее принципы были известны с античных времен. Во втором веке до нашей эры, Герон Александрийский создал механизм автоматически открывавшие двери храма. Когда посетитель возжигал жертвенный огонь, тепло нагревало спрятанный под землей сосуд с водой и воздух внутри расширялся. Давление выталкивало воду через трубку в ведро, под весом воды ведро опускалась и тянуло за веревку, которая открывала дверь. Когда огонь гаснул, воздух остывал и сокращался. Создавался частичный вакуум, вода из ведра засасывалась назад в сосуд и противовес закрывал двери. Как и машина Герона, изобретение Стирлинга основывалось на том, что воздух остывая сжимается, а нагреваясь расширяется. 27 сентября 1816 года он получил в Шотландии патент на тепловой двигатель и позднее был назван- двигателем Стирлинга (рис.1.1). [5]

2.2 Принцип действия двигателя Стирлинга

Двигатель внешнего сгорания Стирлинга — тепловая машина, в которой жидкое или газообразное рабочее тело движется в замкнутом объеме, разновидность двигателя внешнего сгорания. Основан на периодическом нагреве и охлаждении рабочего тела с извлечением энергии из возникающего при этом изменения объема рабочего тела. Может работать не только от сжигания топлива, но и от любого источника тепла. [9]

Прежде всего нужно отметить, что двигатель Стирлинга принципиально отличается от паровой машины двумя особенностями, во-первых, он работает не на воде и водяном паре, а на воздухе; другими словами, этот двигатель газовый (в том смысле, что агрегатное состояние его рабочего тела не меняется - нет ни испарения, ни конденсации). Во-вторых, все процессы изменения параметров рабочего тела проходят полностью в цилиндре машины; воздух из него не выпускается и в него не впускается; поэтому никаких распределительных устройств, вроде клапанов или золотника, в нем нет. [1, с. 10]

Сам двигатель состоит из цилиндра (рис. 2.1), в котором движется вытеснитель и из второго цилиндра, в котором ходит рабочий поршень. Боковые стенки большого цилиндра не проводят тепло. Верхняя часть холодная, нижняя – горячая. Когда вытеснитель опускается вниз, перекрывая горячую пластину, воздух резко охлаждается и сжимается, втягивая рабочий поршень.

Составные части двигателя Стирлинга

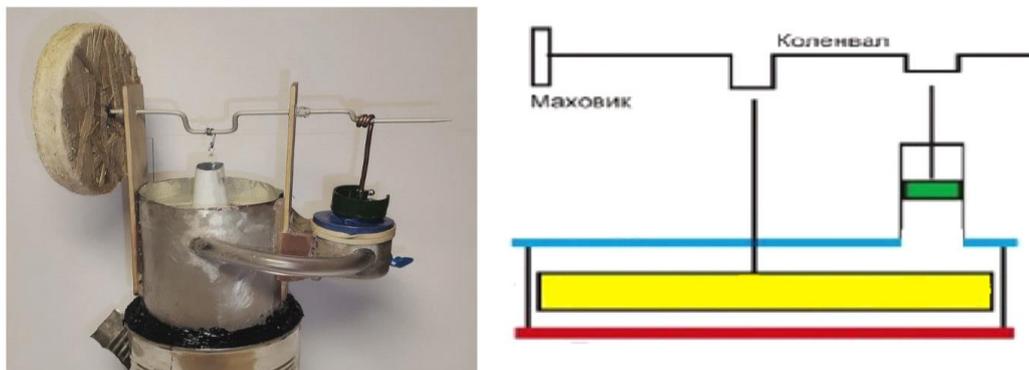


Рисунок 2.1

При движении вытеснителя вверх, он перекрывает холодную пластину, воздух от нижней пластины резко нагревается, расширяется (от нагрева) и вытесняет рабочий зеленый поршень вверх. [6]

Таким образом, блестящая идея Стирлинга сводилась к тому, чтобы периодически с помощью придуманного им простого устройства — вытеснителя переталкивать газ из холодной зоны цилиндра в теплую и обратно. Остальное совершалось автоматически. [2, с. 12]

3.2 Преимущество двигателя Стирлинга

«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.

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.

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.

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. [10]

Экологичность — «стирлинг» не имеет выхлопа из цилиндров, а это значит, что уровень его шума гораздо меньше, чем у поршневых двигателей внутреннего сгорания. β -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). Сам по себе «стирлинг» не имеет каких-то частей или процессов, которые могут способствовать загрязнению окружающей среды. Он не расходует рабочее тело. То есть экологичность двигателя обусловлена прежде всего экологичностью источника тепла. А для него можно отметить, что обеспечить полноту сгорания топлива в двигателе внешнего сгорания проще, чем в двигателе внутреннего сгорания. [11]

4.2 Применение двигателя Стирлинга на практике

Двигатели Стирлинга, работающие от внешнего источника тепла, могут применяться для изготовления:

Генераторов. При помощи силового агрегата можно преобразовать тепловую энергию в электрическую. Это очень удобно в местах, где подача электричества осуществляется с перебоями или отсутствует;

Насосов для перекачки различных жидкостей. Мощности силовой установки достаточно для перекачивания различных жидкостей;

Климатического оборудования;

Автомобилей и самоходной техники [8]

В середине 80-х годов 20-го века, в США собрали и установили двигатель Стирлинга в автомобиль Chevrolet Celebrity.

Результаты были поразительны: глушитель, смазка и катализаторы были уже не нужны, экономия топлива достигала 45%, а ускорение практически не изменилось.

Так же двигатели Стирлинга используются НАСА(NASA) в космических аппаратах. (рис.2.2) [7]

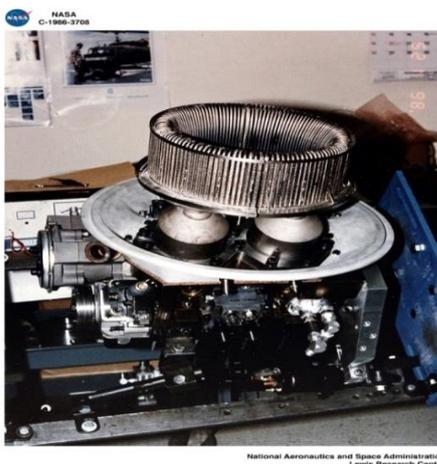


Рисунок 2.2

5.2 Применение в космосе

Большинство космических аппаратов на орбите Земли используют для получения электроэнергии солнечные панели, но для дальних миссий, особенно

за пределы внутренней области солнечной системы такой источник энергии не подходит из-за малой эффективности.

Наиболее часто для исследования далеких от Солнца объектов, а также постоянного стабильного получения энергии используются радиоизотопные источники, как правило, РИТЭГи. Они используют термоэлектрические, термоэмиссионные или другие генераторы для преобразования тепловой энергии распада радиоактивного материала в электрическую энергию для питания систем зонда. Обычно такие генераторы работают на дорогом для получения изотопе плутония ^{238}Pu , а их мощность составляет сотни ватт.

В NASA заявили о начале испытаний урановых атомных установок нового типа Kilopower. Эти реакторы предполагается использовать на Марсе или других планетах, но также они найдут применение и на Земле.

Реактор сможет обеспечивать до 10 кВт электрической мощности в течение десяти лет. В качестве топлива в нём применяется металлический уран-235, теплоносителем выступает жидкий натрий, а преобразовывать тепло в электричество будет двигатель Стирлинга, соединённый с генератором специальным поршнем.

Планируется, что будет разработано несколько вариантов реактора с электрической мощностью от одного до десяти киловатт, которую они смогут поддерживать на протяжении десяти лет. Проект получил многолетнее финансирование NASA, и в течение ближайших месяцев будет проводиться первый этап тестирования прототипа реактора.

Недавно комиссия по ядерной безопасности Канады одобрила проект реактора четвертого поколения, работающего на расплаве солей и имеющего модульную конструкцию для более легкого и быстрого обслуживания.

Если верить отчёту Национального исследовательского совета, эффективность УРГС как минимум в четыре раза выше, чем у термоэлектрического генератора, — с КПД, достигающим до 38%. При этом масса самого генератора не превышает 1,3 кг — при совокупной тепловой и электрической мощности, достигающей 140 Вт.

А это продвинутый «стирлинг», которым НАСА хочет заменить предшественника. Весит всего 1,3 кг, КПД — 38%.

Очевидно, двигатель такого рода действительно может существенно увеличить КПД радиоизотопных источников электроэнергии и в несколько раз повысить автономность трансастероидных космических миссий. [12]

СОЗДАНИЕ ДВИГАТЕЛЯ СТИРЛИНГА

Для создания модели двигателя Стирлинга мне понадобилось: 2 алюминиевых банки объемом 0,33 литра, кусок двуслойного картона размером 30 на 30 сантиметров, рублевая монета, рыболовная леска длиной 20 сантиметров, клей, фольга, пластиковая карта, тонкая булавка, герметик, трубчатый алюминиевый тубус, две деревянные линейки, наждачка, стальной баллончик, трубка диаметром 5 миллиметров, капельница, крышка диаметром 23 миллиметра, шайба диаметром 20 миллиметров, резиновая перчатка, винт, латунная клемма, канцелярская резинка, свечка, вязальная спица, хомут, скрепка, крышка, грузик, банка объемом 500 миллилитров, деревянная дощечка. Итоговая стоимость: 1000 рублей.

Сначала сделаем детали для модели двигателя Стирлинга:

1. Цилиндр

Берем алюминиевую банку объемом 0,33 литра и обрезаем ее до высоты 90 миллиметров. При помощи наждачки удаляем лакокрасочное покрытие с внешней стороны цилиндра. При помощи продолговатого предмета проминаем днище детали, так чтобы оно не выступало во внутреннюю его часть.

2. Вытеснитель

На листе двуслойного картона рисуем два круга диаметром 57 миллиметров и полосу с длиной 180 миллиметров и шириной 35 миллиметров. В одном из дисков в центре проделываем дырку и привязываем рыболовную леску при помощи спички. Ко второму кругу приклеиваем в центр рублевую монету. Снимаем внешний слой с полосы картона, для того, чтобы она лучше сгибалась. Склеиваем три элемента между собой так, чтобы боковая полоса огибалась собой оба диска. В результате чего у нас получился каркас вытеснителя. (рис.3.1)



Рисунок 3.1

Плотно обтягиваем каркас пищевой фольгой, не оставляя открытых щелей между картоном. Вытеснитель в цилиндре должен опускаться вниз только под воздействием силы тяжести, это нужно учитывать, обтягивая вытеснитель. (рис.3.2)



Рисунок 3.2

3. Герметизирующая втулка

Из пластиковой карты вырезаем круг диаметром 30 миллиметров и отмечаем в нем середину. При помощи зажигалки разогреваем булавку пока, она не станет красной. Точечным движением прокалываем пластик. Продеваем через отверстие рыболовную леску и проверяем на герметичность конструкцию. Леска должна ходить свободно через отверстие, без заеданий, так же, находясь в отверстии, она не должна пропускать воздух через себя.

4. Заглушка цилиндра

Следующим шагом делаем заглушку для цилиндра. Такую же банку обрезаем до 25 миллиметров и определяем в ней центр. При помощи сверла проделываем в центре дна дырку диаметром 5 миллиметров. Фиксируем нашу герметичную втулку с внутренней стороны заглушки цилиндра, ровно по центру, при помощи герметика. Поверх заглушки устанавливаем барьер, для того чтобы вода из резервуара охлаждения не попадала на втулку. Его мы делаем из трубчатого алюминиевого тубуса высотой 30 миллиметров. Через отверстие в заглушке продеваем нашу рыболовную леску, вместе с вытеснителем. (рис. 3.3)



Рисунок 3.3

5. Диафрагменная поршневая

Берем баллончик диаметром около 35 миллиметров и обрезаем его так, чтобы высота была 30 миллиметров. Срез покрываем слоем горячего клея, чтобы избежать разрыва мембраны. Сбоку проделываем отверстие под соединительную трубку. В поршневую основу врезаем клапан для сброса излишнего давления, его я взяла из капельницы. (рис. 3.4)

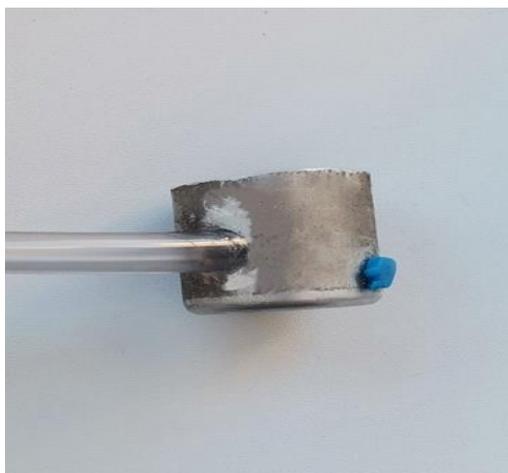


Рисунок 3.4

6. Поршень

Он состоит из крышки диаметром 23 миллиметра и 20 миллиметровой пластиковой шайбы, между которыми зажата мембрана. В моем случае это наплечник из резиновой перчатки. Стягиваем эти три детали винтом через центр. На выступающую часть винта насаживаем латунную клемму.

7. Коленчатый вал

Вязальную спицу сгибаем по чертежу (рис.3.5):

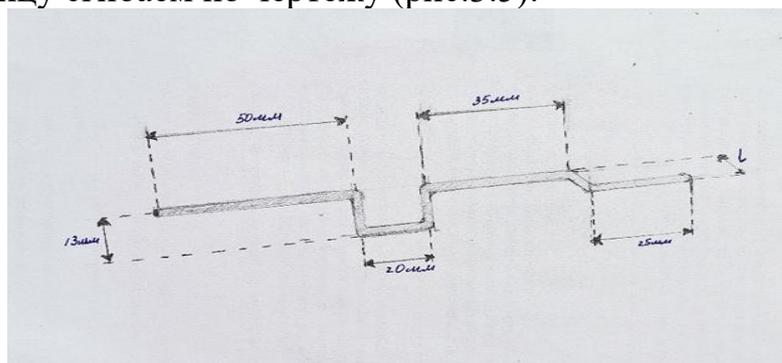


Рисунок 3.5

где l -длина надпоршневого колена

13 мм-длина колена вытеснителя

20 мм- длина центрального колена

Его размер мы считаем так: ход амплитуды поршня делим на 2. Ход поршня мы сможем посчитать, собрав детали конструкции. Колена располагаются под углом в 90 градусов друг относительно друга. Части коленвала должны находиться в одной плоскости, это можно проверить, положив деталь на ровную поверхность. На центральном колене создаем крепежный крючок для лески. Для этого разгибаем скрепку и наматываем ее на вязальную спицу. Закрепляем на вале, по бокам ставим ограничители. Они у меня выполнены из хомутов.

8. Маховик

Мы делаем его из деревянной дощечки. Выпиливаем из нее круг радиусом 5 сантиметров. В центре делаем отверстие равное диаметру коленвала. (рис. 3.6) Маховик должен иметь достаточный вес.



Рисунок 3.6

9. Подставка под двигатель

В банки объемом 500 миллилитров прорезаем 3 отверстия, первое-круглое в основании банки диаметром 60 миллиметров. Второе-газоотводное, высотой 30 миллиметров, а шириной 40 миллиметров, оно находится прямо под лопастями вентилятора. Третье делаем под размеры своего источника тепла, в моем случае свечки.

Сделав все эти детали, можем собрать модель двигателя Стирлинга:

В наш цилиндр вставляем заглушку с вытеснителем, так чтобы ход вытеснителя был равен 26 миллиметров. Деревянную линейку длиной 125 миллиметров приклеиваем на высоте 30 миллиметров от основания цилиндра. Сбоку делаем отверстие для трубки на максимально высоком уровне.

Поршневую основу приклеиваем к цилиндру. Герметично приклеиваем трубку поршневой основы к цилиндру, так что бы трубка не мешала ходу вытеснителя. (рис. 3.7) На поршневую основу надеваем мембрану и плотно прижимаем ее резинкой.



Рисунок 3.7

Измерим ход поршня, для этого нальем воду в заглушку и начнем подогревать цилиндр снизу. Герметизирующий клапан должен быть открыт, подождав пару секунд закрываем его. Начав передвигать поршень, мы видим, что поршень начинает подниматься. Зафиксируем амплитуду хода поршня при помощи линейки. В моем случае это 15 миллиметров.

Зная ход поршня, можем доделать коленвал. Продеваем коленвал через отверстие в стойке и закрепляем вторую линейку симметрично первой. На спице

размещаем ограничители, которые не дадут сместиться коленвалу. Рыболовную леску привязываем к крючку так, чтобы в любом положении коленвала вытеснитель не касался дна цилиндра. (рис. 3.8)



Рисунок 3.8

Над поршнем устанавливаем шатун: вязальную спицу навязываем на коленвал и ее нижняя часть затягивается в латунной клемме. Длина шатуна должна быть такой, что при крайних положениях коленвала мембрана не натягивалась. Все места подверженные трению смазываем густой смазкой.

Наше маховое колесо закрепляем на коленвале при помощи клея. Помещаем наш двигатель в подставку.

Проверяем его работа-способность. Заполняем охладитель водой. Подносим под цилиндр зажжённую свечку, ее пламя не должно касаться дна. Закрываем клапан для сброса излишнего давления. Видим, что маховик начал крутиться. Двигатель готов! (рис. 3.9)

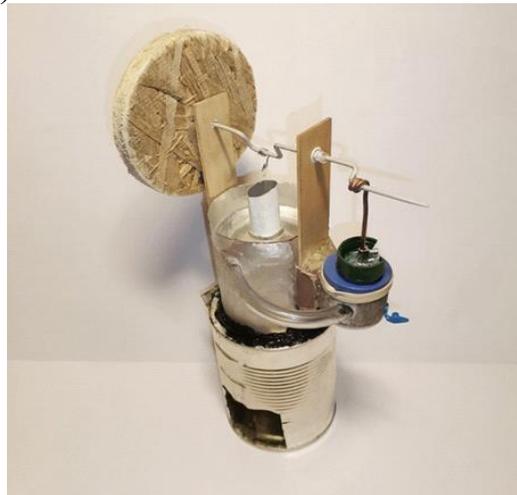


Рисунок 3.9

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Двигатель Стирлинга один из самых недооценённых приборов. У него есть огромное множество плюсов. Он превосходит большое количество других моделей тепловых двигателей. Его применение в сфере космонавтики поможет расширить знания человечества о космосе, ведь благодаря ему могут осуществляться длительные полеты в космос в ближайшем будущем.

Мои цели были достигнуты, я разобралась в принципе действия двигателя Стирлинга, и на основе этого создала работающую модель двигателя Стирлинга.

Используя ее можно наглядно продемонстрировать принцип действия тепловых двигателей, которые используются в ракетах. А это в свою очередь может повысить интерес людей в сфере космоса.

Индикаторы моего проекта это-работающая модель двигателя Стирлинга. Моделью можно будет воспользоваться в любой момент, используя инструкцию по применению. (см. Приложение 1)

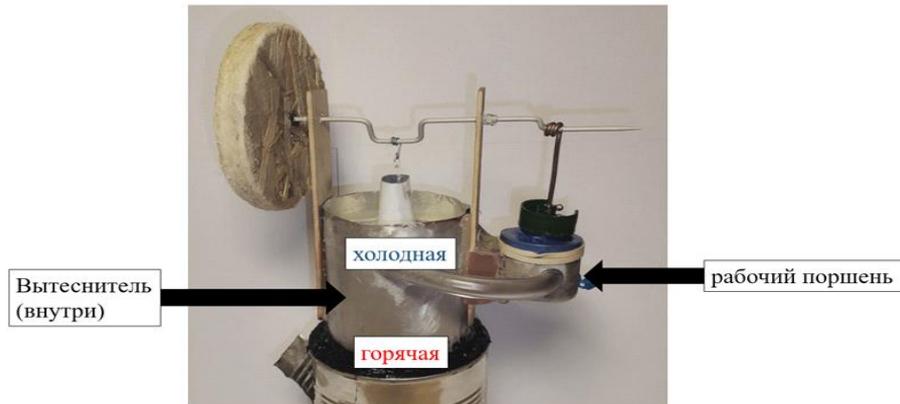
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. В. М. Бродянский. От твердой воды до жидкого гелия (история холода). — М.: Энергоатомиздат
2. Г.Ридер. Двигатели Стирлинга/ Г.Ридер, Ч.Хупер: Изд-во 1986 г., 1995.
3. Физика. 10 класс: учебник для общеобразовательных учреждений: базовый и профильный уровни / Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев, Н.Н. Сотский; под ред. Н.А. Парфентьевой. – М.: Просвещение, 2020.
4. Физика. 11 класс: учебник для общеобразовательных учреждений: базовый и профильный уровни / Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев, В.М. Чаругин; под ред. В.И. Николаева, Н.А. Парфентьевой. – М.: Просвещение, 2020.
5. Яндекс дзен [Электронный ресурс]: Роберт Стирлинг и его двигатель: <https://zen.yandex.ru/media/id/5eb96fc8046ed81479ddd20d/robert-stirling-i-ego-dvigatel-5f32b2d26dfb3a749c7810db>
6. Изобретения и самоделки [Электронный ресурс]: Принцип работы двигателя Стирлинга: <https://izobreteniya.net/printsip-raboty-dvigatelya-stirlinga/>
7. Alter220 [Электронный ресурс]: Современный двигатель Стирлинга: <https://alter220.ru/news/sovremennyj-dvigatel-stirlinga.html>
8. Tortexnik.ru [Электронный ресурс]: Двигатель Стирлинга – Устройство, виды и принцип работы: <https://toptexnik.ru/dvigately/dvigatel-stirlinga-ustrojstvo-vidy-i-printsip-raboty>
9. Про автодвижок [Электронный ресурс]: Двигатель внешнего сгорания- Принцип работы и достоинства: <https://toyota-chr2.ru/sovety/teplovye-dvigateli-vneshnego-sgoraniya.html>
10. Magicmag [Электронный ресурс]: Принцип работы двигателя Стирлинга: <https://magicmag.net/blog/princip-raboti-dvigatelya-sterlinga>
11. Википедия [Электронный ресурс]: Двигатель Стирлинга: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B2%D0%B8%D0%B3%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C_%D0%A1%D1%82%D0%B8%D1%80%D0%BB%D0%B8%D0%BD%D0%B3%D0%B0
12. tehnot [Электронный ресурс]: NASA тестирует космические ядерные реакторы с двигателями Стирлинга: <https://tehnot.com/nasa-testiruet-kosmicheskie-yadernye-reaktory-s-dvigatelyami-stirlinga/>

ПРИЛОЖЕНИЕ

Инструкция по применению

Двигатель Стирлинга состоит из цилиндра, в котором движется вытеснитель и из второго цилиндра, в котором ходит рабочий поршень. Боковые стенки большого цилиндра не проводят тепло. Верхняя часть холодная, нижняя – горячая.



- Перед применением нужно налить в охладитель воду (холодную).



- Внутри подставки нужно поместить свечку с огнем, пламя не должно касаться банки.
- Нужно проследить, что перед началом использования клапан должен быть открыт, закрываем его, подождав немного (от 30 секунд до 45 секунд).



- Маховик должен находится над специально отведенном отверстию в подставке



- Нужно чуть подтолкнуть маховик рукой, конструкция начнет работать. При движении вытеснителя вверх, он перекрывает холодную пластину, воздух от нижней пластины резко нагревается, расширяется и вытесняет рабочий поршень вверх. Когда рабочий поршень достигает наивысшей точки, вытеснитель под действием силы тяжести движется вниз. Конструкция возвращается в исходное положение. Таким образом, блестящая идея Стирлинга сводилась к тому, чтобы периодически с помощью придуманного им простого устройства — вытеснителя переталкивать газ из холодной зоны цилиндра в теплую и обратно. Остальное совершалось автоматически.

Приложение 1