

Краевая научно-практическая конференция  
учебно-исследовательских работ учащихся 6-11 классов  
«Прикладные и фундаментальные вопросы математики и физики»

прикладные вопросы физики

**Двигатель Стирлинга**

Беличенко Денис Вячеславович,  
11 к., МАОУ «СОШ №1», г. Верещагино

Бушуева Людмила Геннадьевна,  
учитель физики МАОУ «СОШ №1»

Пермь. 2017

## Содержание

Введение. Актуальность. Цель и задачи работы.....	3
1. Теоретическое обоснование - анализ рассматриваемого вопроса.....	6
2. Практическая часть. Сборка модели двигателя (фотоотчёт).....	12
3. Презентация результатов. Показ двигателя Стирлинга в действии .....	13
Заключение.....	13
Информационные ресурсы.....	14

*«Кто – еще до сражения – побеждает  
предварительным расчетом, у того шансов  
много; кто – еще до сражения – не побеждает  
расчетом, у того шансов мало».*  
Сунь Цзы, V век до н.э

### **Актуальность.**

### **Есть ли альтернатива у двигателя внутреннего сгорания?**

С этого вопроса и начался наш проект. Есть. Это внешний двигатель или Двигатель Стирлинга. В современном мире увидеть двигатель Стирлинга большая редкость, хотя используют его в некоторых сферах деятельности, таких как: автомобильной технике, некоторых моделях подводных лодок или даже на космических станциях, его мало где презентуют. Хотя в будущем его могли бы использовать в ещё больших целях: питание энергией городов, создание машин на таком двигателе и т.д. КПД такого двигателя превосходит нынешний всеми используемый двигатель внутреннего сгорания.

Двигатель внутреннего сгорания: используется повсеместно, но шумит, и коптит, что приводит к загрязнению окружающей среды. Работает на бензине, солярке или дизельном топливе, а запасы нефти, из которой производят, эти продукты уменьшаются. При его эксплуатации только четвертая часть затрат уходит в полезность, а остальное вылетает в трубу. В работе рассмотрены вопросы устройства и принципа работы двигателей Стирлинга, выбрана и изготовлена модель такого двигателя.

В обзорах по различным двигательным установкам для автомобилей двигатель Стирлинга рассматривают как двигатель, обладающий наибольшими возможностями для дальнейшей разработки:

- низкий уровень шума,
- малая токсичность отработавших газов,
- возможность работы на различных топливах,
- большой ресурс,
- сравнимые размеры и масса,
- хорошие характеристики в режимах частичной нагрузки,

- благоприятные характеристики крутящего момента.

Эти параметры дают возможность «бросить вызов» ДВС. Эти двигатели не имеют каких-то частей или процессов, которые могут способствовать загрязнению окружающей среды. Они не расходуют рабочее тело. Экологичность двигателя обусловлена экологичностью источника тепла и возможностью обеспечить полноту сгорания топлива

Зарубежный опыт создания современных высокоэффективных машин Стирлинга показывает, что без точного математического моделирования рабочих процессов и оптимального конструирования основных узлов, доводка проектируемых машин превращается в многолетние изнурительные экспериментальные исследования. В настоящее время западные фирмы, ведущие разработки в данной области, в основном опираются на теоретические и экспериментальные исследования своих научных подразделений, технических университетов или создают технопарки по разработке отдельных типов машин Стирлинга. Но на промышленный выпуск данных устройств ни одна страна ещё не вышла. Не до конца изучен вопрос, дорого, времязатратно, мы решили разобраться, что такое внешний двигатель, создав его модель.

**Противоречие: идея есть - производства нет (видео)**

**Проблема:** экологичные “Стирлинги” сегодня не нашли широкого использования в жизнедеятельности человека, потому что их разработкам уделено недостаточно внимания.

**Цель проекта:** создание рабочей модели двигателя Стирлинга.

**Задачи проекта:**

1. Собрать и проанализировать материал на тему двигатель Стирлинга.
2. Рассмотреть принципы работы внешнего двигателя.
3. Провести анализ моделей двигателя, предлагаемых информационными источниками.
4. Выбрать подходящий проект модели двигателя.

5. Создать действующую модель двигателя Стирлинга.

**Выход практический.** Проект по ДВПТ может привести к появлению не только интереса к теме, но и к организации секций ребят - стирлингистов, которые в будущем смогут предложить технологии создания перспективных двигателей.

**Этапы работы над проектом.**

**Этап 1.** Теоретическое обоснование проекта (погружение в проект).

**Этап 2.** Анализ информационных источников.

**Этап 3.** Практическая часть. Сборка действующей модели двигателя и создание рекламного плаката.

**Этап 4.** Презентация результатов.

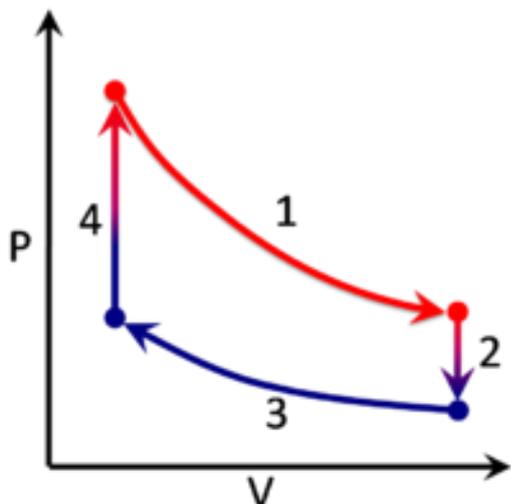
**Объект исследования:** перспективность внешнего двигателя.

**Предмет исследования:** модель двигателя Стирлинга.

**Используемые методы:** теоретический, аналитический, экспериментальный.

## 1. Теоретическое обоснование - анализ рассматриваемого вопроса.

Что представляет собой двигатель Стирлинга?



Двигатель Стирлинга относится к классу двигателей с внешним подводом теплоты (ДВПТ). Это машина, которая работает по замкнутому термодинамическому циклу. Из термодинамики известно, что давление, температура и объём газа взаимосвязаны по закону:  $PV = nRT$

Рис.1 Диаграмма «давление-объём» идеализированного цикла Стирлинга

Свойство газов при нагревании увеличивать объём, а при нагревании уменьшать его лежит в основе работы двигателя Стирлинга. Цикл Стирлинга состоит из четырёх фаз и разделён двумя переходными фазами: нагрев, расширение, переход к источнику холода, охлаждение, сжатие и переход к источнику тепла. Температурное изменение объёмов в двигателе Стирлинга преобразуется в работу. При этом: отсутствуют клапаны, в рабочем пространстве нет масла, среднее значение давления газа достаточно высокое, тепло передается через стенки цилиндра или теплообменник.

Принцип работы внешних двигателей основан на технологии, разработанной и запатентованной в 1816 году шотландцем Робертом Стирлингом, особенностью которого является внешний источник тепла (сгорающий бензин, солнечная энергия, тепло, производимое компостными бактериями). Внутри цилиндров нет горения топлива, поэтому двигатель называют внешним.

### Рабочий цикл двигателя Стирлинга beta-типа:

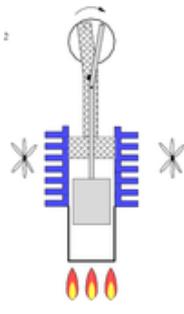
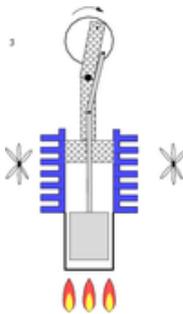
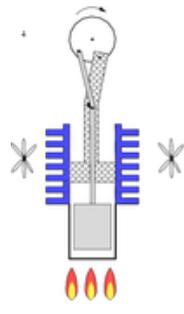
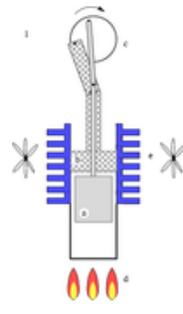
			
<p>Внешний источник тепла нагревает газ в нижней части теплообменного цилиндра. Создаваемое давление толкает рабочий поршень вверх (обратите внимание, что вытеснительный поршень неплотно прилегает к стенкам).</p>	<p>Маховик толкает вытеснительный поршень вниз, тем самым перемещая разогретый воздух из нижней части в охлаждающую камеру.</p>	<p>Воздух остывает и сжимается, поршень опускается вниз.</p>	<p>Вытесните льный поршень поднимается вверх, тем самым перемещая охлаждённый воздух в нижнюю часть. И цикл повторяется.</p>

Рис.2 Принцип работы двигателя на примере Бета-Стирлинга.

#### 1.1 Классификация двигателей.

Современная схема классификации и идентификации двигателей Стирлинга включает следующие три признака, которые нами взяты за основу систематизации существующих и будущих форм двигателей:

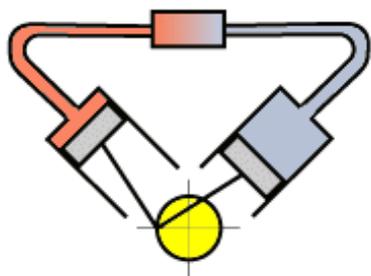
- а) режим работы;*
- б) способ соединения цилиндров;*
- в) способ соединения поршней.*

**Режим работы.** Выделены следующие шесть режимов работы двигателей Стирлинга:

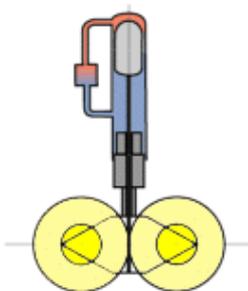
- 1 двойного действия;

- 2 простого действия;
- 3 однофазный;
- 4 многофазный;
- 5 резонансный;
- 6 нерезонансный.

**Имеются три типа соединения цилиндров.**

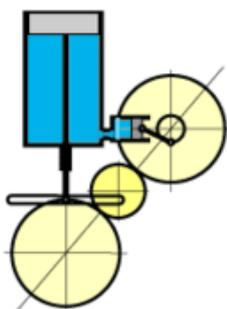


**1. Альфа-Стирлинг** — содержит два отдельных силовых поршня в отдельных цилиндрах. Один поршень — горячий, другой — холодный. Цилиндр с горячим поршнем находится в теплообменнике с более высокой температурой, в то время как цилиндр с холодным поршнем находится в более холодном теплообменнике. У данного типа двигателя отношение мощности к объёму достаточно велико, высокая температура «горячего» поршня создаёт определённые технические проблемы.



**2. Бета-Стирлинг** — цилиндр всего один, горячий с одного конца и холодный с другого. Внутри цилиндра движутся поршень (с которого снимается мощность) и «вытеснитель», изменяющий объём горячей полости. Газ перекачивается из холодной части цилиндра в горячую через регенератор. Регенератор может быть внешним, частью теплообменника, или совмещённым с поршнем-вытеснителем.

**3. Гамма-Стирлинг** — тоже есть поршень и «вытеснитель», но при



этом два цилиндра — один холодный (там движется поршень, с которого снимается мощность), а второй горячий с одного конца и холодный с другого (там движется «вытеснитель»). Регенератор соединяет горячую часть второго цилиндра с холодной и

одновременно с первым (холодным) цилиндром.

Соединение альфа включает группу двигателей с двумя отдельными цилиндрами, в каждом из которых имеется уплотненный в нем поршень.

Горячий и холодный переменные объемы формируются независимо друг от друга при движении соответствующих поршней. В двигателе с компоновкой бета имеется один цилиндр, в котором последовательно расположены поршень и вытеснитель, а переменный холодный объем образуется при совместном движении поршня и вытеснителя. Соединение гамма - это в той или иной мере гибрид компоновок альфа и бета, в котором имеются два отдельных цилиндра, как в способе альфа, однако переменный холодный объем образуется способом бета.

### **Способ соединения поршней.**

Способ соединения поршней является дополнительным классификационным признаком. В двигателях Стирлинга применяются три основные формы соединения поршней:

- 1) жесткое соединение;
- 2) соединение через газ;
- 3) соединение через жидкость

### **1.2. Двигатели Стирлинга для автомобильного транспорта.**

Анализ имеющейся информации по данному вопросу позволил нам сделать следующие выводы:

*1. Во - первых, новое - это хорошо забытое старое* - двигатель с внешним подводом теплоты сегодня отвоевывает позиции на рынке автомобилестроения, хотя и на этапах теоретического расчета, моделирования и освоения новых технологий для производства деталей. В 1938 году по инициативе известной голландской фирмы Philips работа над Стирлингами возобновилась. Инженеры компании решили приспособить автономные двигатели для привода генераторов в «неэлектрифицированных» районах - чтобы продавать там свои радиотовары. Расчеты показали, что

теоретически КПД двигателя Стирлинга значительно выше других моторов. А в 1972 году был построен экспериментальный автомобиль с четырехцилиндровым Стирлингом, но дальше экспериментов дело не пошло. (*Видеоролик с канала НТВ*).

**2. Во - вторых, мы сравнили ДВПТ, ДВС, ДИЗЕЛЯ, указав на принципиальные отличия:**

различия между ДВПТ и ДВС: не нужны топливо и окислитель, а сразу источник тепла - любой и не надо клапанов впуска и выпуска, так как рабочее тело постоянно находится в полостях двигателя.

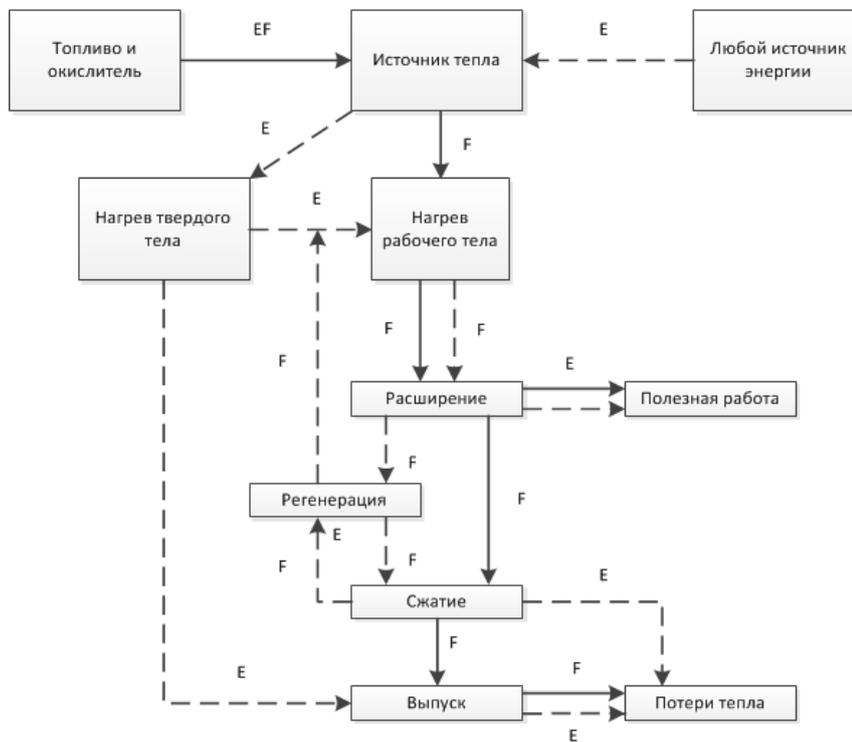


Рис. 4

Принципиальное различие между двигателем Стирлинга и двигателем внутреннего сгорания (ДВС).

- > Двигатель Стирлинга; E- поток энергии;
- > ДВС; F- поток рабочего тела;



Рис. 3 Сравнение структур энергетического баланса двигателя Стирлинга и дизельного двигателя.

3. В - третьих, в настоящее время значительно расширилась область использования двигателей: автомобильные двигатели, криогенные газовые машины, рефрижераторные установки, электрогенераторы малой мощности, двигатели для морских судов, подводные энергетические системы, солнечные энергетические установки.

Объясняется тем, что их можно использовать как **тепловой аккумулятор**, заряжать который можно от любого источника (электронагреватель, газовая горелка) в любое время суток (ночью).

Возможно применение двигателей Стирлинга для **подземных транспортных средств** на рудниках и в шахтах, там, где техника безопасности и противопожарной безопасности стоит на первом месте. Он практически не шумит и позволяет исключить появление горючих газов.

Меняя режим работы установки между соседними цилиндрами на нагреваемых частях двигателя: потребление теплоты при высокой температуре и производство полезной работы, на режим теплового насоса, потребляющего механическую энергию и производящего тепловую энергию с высоким температурным потенциалом, можно создавать **регенеративное торможение** мощных самосвалов, работающих в открытых карьерах, или горных работах. Аналогичная система может быть применена и в двигателях для железнодорожных локомотивов и междугородных и предгорных районах.

## 2. Практическая часть.

Поиск, отбор и анализ информационных источников, в том числе и цифровых ресурсов (приложение), занял определенное количество времени, в итоге мы решили собрать классическую модель двигателя гамма – стирлинга

### 2.1. Сборка модели двигателя. Фотоотчёт.

Творческий процесс работы по сборке двигателя и отладке его запуска.

1. Подборка модели для сборки.
2. Подборка приборов и материалов
3. Создание действующей модели двигателя Стирлинга.

#### Сборка модели двигателя.

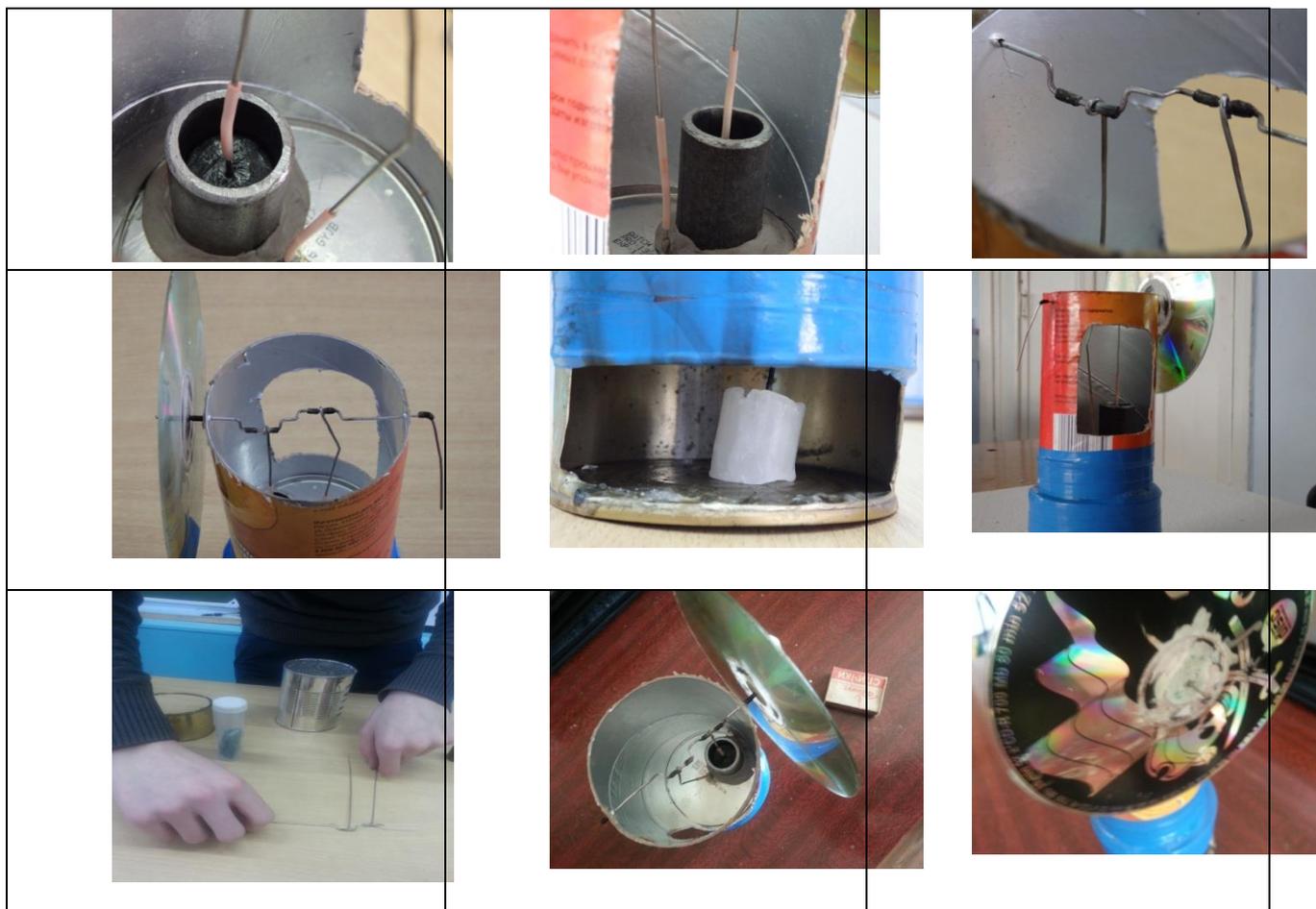
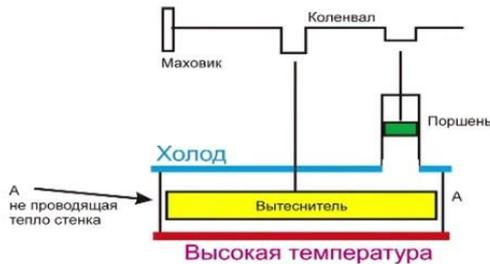


Рис. 4 Творческий процесс работы по сборке двигателя и отладке его запуска.

### 3. Презентация результатов. Показ двигателя Стирлинга в действии.



#### Заключение.

#### Перспективы двигателей Стирлинга...

Анализ имеющейся информации по данному вопросу позволил нам сделать следующие выводы:

**Во - первых**, новое - это хорошо забытое старое - двигатель с внешним подводом теплоты сегодня может завоевать позиции на рынке автомобилестроения.

**Во - вторых**, мы сравнили ДВПТ, ДВС, ДИЗЕЛЯ, обнаружив при этом принципиальные отличия:

различия между ДВПТ и ДВС: не нужны топливо и окислитель, а сразу источник тепла - любой и не надо клапанов впуска и выпуска, так как рабочее тело постоянно находится в полостях двигателя.

**В - третьих**, в настоящее время значительно расширилась область использования двигателей: это не только автомобильные двигатели, но и криогенные газовые машины, рефрижераторные установки, электрогенераторы малой мощности, двигатели для морских судов, подводные энергетические системы, солнечные энергетические установки. Двигатель практически не шумит и исключает появление горючих газов.

Готов поделиться информацией для начинающих стирлингистов.

### Используемые в работе информационные ресурсы:

<b>Книги:</b>	1. Г.В. Смирнов Двигатели внешнего сгорания Издательство «Знание» Москва 1967.
<b>Статьи:</b>	1. Двигатель Стирлинга- журнал «Аква-Терм» №3 (67) 2012 [Электронный ресурс]. URL: <a href="http://www.aqua-therm.ru/articles/articles_247.html">http://www.aqua-therm.ru/articles/articles_247.html</a> 2. Н. Кириллов, И. Затеев Двигатель Стирлинга. История, перспективы- журнал “Альтернативный киловатт” [Электронный ресурс]. URL: <a href="http://www.akw-mag.ru/content/view/54/35/">http://www.akw-mag.ru/content/view/54/35/</a>
<b>Цифровые ресурсы:</b>	1. Втормет Винница [Электронный ресурс]. URL: <a href="http://www.vtormet.vn.ua/info/engine/stirling.html">http://www.vtormet.vn.ua/info/engine/stirling.html</a> 2. Модели самолётов, авиамодели, чертежи авиамоделей, авиамоделирование [Электронный ресурс]. URL: <a href="http://dvigatel-stirlinga.masteraero.ru/dvigatel_stirlinga_2.php">http://dvigatel-stirlinga.masteraero.ru/dvigatel_stirlinga_2.php</a> 3. Двигатель Стирлинга из мусора- «Steampunker» [Электронный ресурс]. URL: <a href="http://steampunker.ru/blog/foreign_workshop/2154.html">http://steampunker.ru/blog/foreign_workshop/2154.html</a> 4. Сайт СтирлингМашины [Электронный ресурс] URL: <a href="http://stirlingmotors.ru/">http://stirlingmotors.ru/</a> 5. Шариковый двигатель Стирлинга [Электронный ресурс] URL: <a href="http://www.nmri.go.jp/eng/khirata/stirling/testtube01/index.html">www.nmri.go.jp/eng/khirata/stirling/testtube01/index.html</a> 6. Форум Стирлинг для начинающих [Электронный ресурс] URL: <a href="http://stirlingengine.ukrainianforum.net/t63p15-topic">http://stirlingengine.ukrainianforum.net/t63p15-topic</a> 7. Двигатель Стирлинга. Эксепимент [Электронный ресурс] URL: <a href="http://youtu.be/WTmmvs3uIv0">http://youtu.be/WTmmvs3uIv0</a> 8. Творческая группа “Алхимик” [Электронный ресурс] URL: <a href="http://cnhufa.ru/?p=1113">http://cnhufa.ru/?p=1113</a> <a href="http://ru.wikipedia.org/wiki">http://ru.wikipedia.org/wiki</a> 9. Двигатель Стирлинга [Электронный ресурс] URL: <a href="http://ru.wikipedia.org/wiki">http://ru.wikipedia.org/wiki</a>

