

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого  
Институт физики, нанотехнологий и телекоммуникаций

**Кафедра радиофизики**

---

**«ОТЧЕТ ПРИНЯТ»**

Ответственный кафедры РФ  
по учебно-вычислительной практике:

Грешневилов Константин Владимирович/ \_\_\_\_\_/  
« 30» августа 2015 г.

**ОТЧЕТ**

**по учебно-вычислительной практике**

**ТЕМА:**

**РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ПРИВЛЕЧЕНИЯ ВНИМАНИЯ  
ОБЩЕСТВЕННОСТИ К ПРОБЛЕМАМ НАУКИ ПУТЕМ ЕЕ  
ПОПУЛЯРИЗАЦИИ**

Студент гр. 13421/1      Казаков Василий Петрович \_\_\_\_\_/

Научный                      Гучкова Елена Валерьевна  
руководитель

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2015 г.

# Двигатель Стирлинга своими руками

Решение задачи привлечения внимания общественности к проблемам науки путем ее популяризации.

Главной целью практики было создать проект, который позволит показать интересный и наглядный физический опыт. По задумке это должно привлечь интерес к науке и к ее проблемам в частности.

Наиболее показательным и интересным я посчитал создать двигатель Стирлинга, это сравнительно не сложно, не материалоемко и покажет всю перспективность развития науки ( в данном случае установки и использования этого двигателя в некоторые устройства).

За основу был взят ролик из интернета, наглядно демонстрирующий весь процесс сборки, а так же работающий результат. Дополнительное изучение теории процесса и технологических особенностей устройства позволили выявить ряд важных моментов и сложностей на стадии приобретения материалов.

## Что такое двигатель Стирлинга?

Двигатель Стирлинга — тепловая машина, в которой рабочее тело, наполненное газом или жидкостью, 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. Может работать не только от сжигания топлива, но и от любого источника тепла или холода.

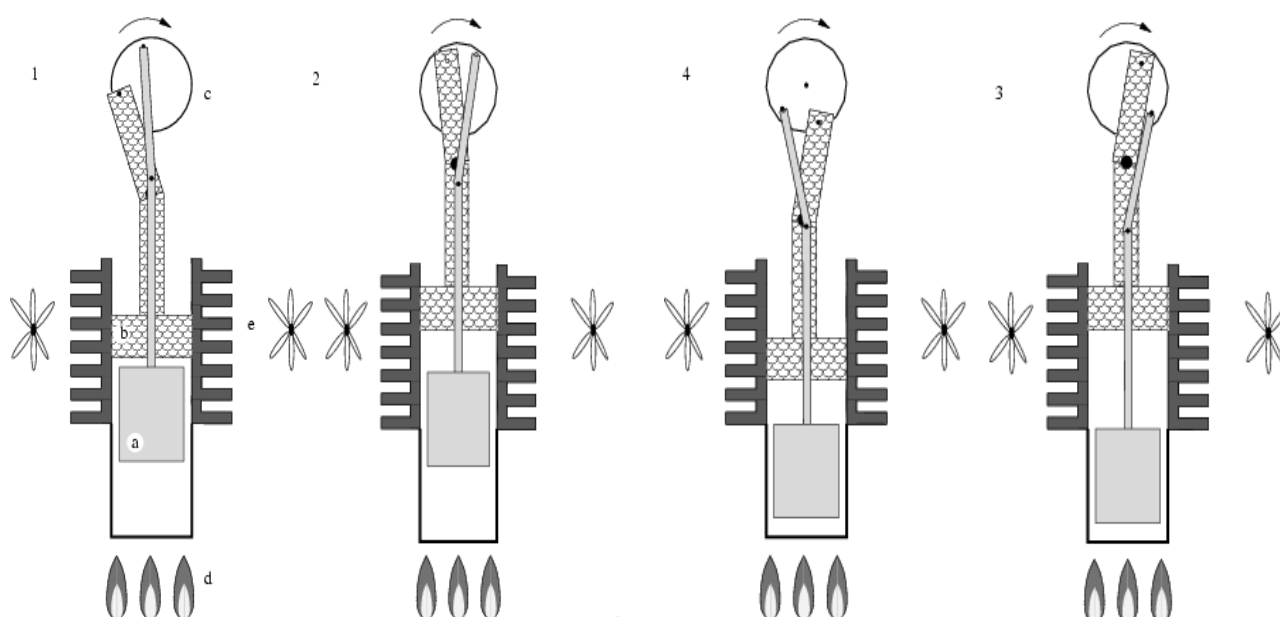
Двигатель Стирлинга использует цикл Стирлинга, который по термодинамической эффективности не уступает циклу Карно, и даже обладает преимуществом. Дело в том, что цикл Карно состоит из мало отличающихся между собой изотерм и адиабат. Практическое воплощение этого цикла мало перспективно. Цикл Стирлинга позволил получить работающий на практике двигатель в приемлемых размерах.



Цикл Стирлинга состоит из четырёх фаз и разделён двумя переходными фазами: нагрев, расширение, переход к источнику холода, охлаждение, сжатие и переход к источнику тепла. Таким образом, при переходе от тёплого источника к холодному источнику происходит расширение и сжатие газа, находящегося в цилиндре. При этом изменяется давление, за счёт чего можно получить полезную работу.

Нагрев и охлаждение рабочего тела (участки 4 и 2) производится вытеснителем. В идеале количество тепла, отдаваемое и отбираемое вытеснителем, одинаково. Полезная работа производится только за счёт изотерм, то есть зависит от разницы температур нагревателя и охладителя, как в цикле Карно.

Рабочий цикл двигателя Стирлинга beta-типа:



где: а — вытеснительный поршень; в — рабочий поршень; с — маховик; и — огонь (область нагревания); е — охлаждающие ребра (область охлаждения).

1. 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).
2. Маховик толкает вытеснительный поршень вниз, тем самым перемещая разогретый воздух из нижней части в охлаждающую камеру.
3. Воздух остывает и сжимается, рабочий поршень опускается вниз.
4. Вытеснительный поршень поднимается вверх, тем самым перемещая охлажденный воздух в нижнюю часть. И цикл повторяется.

### Создание прототипа.

Уже из определения следовало, что потребуется создать замкнутый объем, что весьма проблематично сделать в домашних условиях. Отдельной проблемой стало выбрать материалы для нагреваемой и охлаждаемой поверхности рабочей камеры, поскольку разницы температур между этими поверхностями должна быть максимально большой, то стенки рабочей камеры должны быть сделаны из слабо-теплопроводящего материала. Дополнительная утечка рабочего вещества стала происходить и на технических отверстиях рабочей камеры, но это удалось решить сравнительно легко: в рабочий поршень на стадии изготовления была примешана графитовая пыль (также позволила уменьшить трения), а маховик вытеснителя в месте прохождения через подшипник поперечного хода был смазан силиконовой смазкой. Отдельно опытным путем подбиралась масса и диаметр рабочего поршня. Так как никаких конкретных размеров не было дано, то многое было сделано «на глаз», так например, было сделано порядка десяти коленвалов с различными размерами, а так же отдельно подбиралась оптимальная длина хода вытеснителя и его толщина. На стадии тестирования я выяснил дополнительные сложности: поскольку в роли рабочего тела выступал обыкновенный воздух, то после нескольких запусков двигателя в рабочей камере стала конденсироваться влага, что негативно влияло на работу двигателя.

Изначально было запланировано создать несколько прототипов, чтобы потом выбрать и доработать наиболее удачный. Но по причине ряда ошибок, например, не правильно выбранной направляющей рабочего поршня (трубка из легкоплавкой пластмассы почти сразу расплавилась),

а так же не соблюдение технологии смешивания эпоксидного клея для рабочего поршня ( он не застыл), до стадии отладки дошел только один двигатель.

Уже на нем непосредственно решалась проблема высокого трения на всех подвижных соединениях, так, например, трение между коленвалом и опорами было уменьшено за счет использования заклепок большего диаметра, чем проволока из которой был изготовлен коленвал, а так же обладающих меньшим трением. После ряда тестовых запусков выяснилось, что крепление маховика к вытеснителю недостаточно надежное, он просто отвалился, поэтому пришлось разобрать устройство и провести более качественную склейку (создание дополнительных зацепов на маховике, а так же увеличение площади контакта вытеснителя с оным). Пытаясь уменьшить трение на рабочем поршне столкнулся с не предвиденной проблемой: пытаясь достигнуть максимальной герметичности, я уменьшил зазор между телом рабочего поршня и направляющей трубкой на столько, что использование смазочных материалов даже низкой плотности приводило к увеличению трения, поэтому пришлось ограничиться заполировкой технологического шва трубки и графитовой смазкой.

В результате я получил двигатель способный работать от пламени обыкновенной свечи.

Как мысль для дальнейшего развития проекта появилась идея создать набор из элементов, которые позволяли бы собрать рабочий двигатель любому человеку, опираясь на инструкцию. Это позволило бы повысить наглядность и «увлеченность» человека участвующего в демонстрации проекта.

#### **Что получилось в результате проекта?**

Для большей наглядности проекта была изготовлена презентация и буклеты, поясняющие принципы работы. А так же из не работающих двигателей была создана наглядная демонстрация работы частей двигателя. Демонстрация проекта подразумевала выдачу брошюры, демонстрацию работы двигателя, а так же теоретические пояснения.

### **По результатам проекта можно сделать выводы:**

Использование двигателя Стирлинга (по крайней мере такого типа) в домашних условиях не рентабельно. По причине низкого КПД из-за массы технических особенностей, которые решить в домашних условиях нельзя.

Двигатель обладает рядом преимуществ, такие как:

- всеядность
- сравнительно низкий уровень шумов
- простота конструкции и как следствие ресурсность (двигатели Стирлинга были установлены на Шведские подводные лодки)
- экологичность

Но так же Стирлинги обладают рядом минусов:

- для начала работы двигателя требуется время для создания разницы температур между стенками рабочей камеры,
- для получения характеристик, сравнимых с характеристиками ДВС, приходится применять высокие давления (свыше 100 атм) и особые виды рабочего тела — водород, гелий.
- Громоздкость и материалоемкость — основной недостаток поршневых вариантов двигателя. У двигателей внешнего сгорания вообще, и двигателя Стирлинга в частности, рабочее тело необходимо охлаждать, и это приводит к существенному увеличению массогабаритных показателей силовой установки за счёт увеличенных радиаторов.
- Для быстрого изменения мощности двигателя используются способы, отличные от применяемых 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 мгновенным.

Для демонстрации Работы двигателя Стирлинга в будущем можно посоветовать использовать магнитную конструкцию, так как она позволяет устранить проблемы с герметичностью на ряде соединений, хоть и имеет другие сложности в исполнении.