

ДВИГАТЕЛЬ СТИРЛИНГА – ДВИГАТЕЛЬ БУДУЩЕГО

Кожухов Иван Валерьевич,

Шипицын Леонид Владимирович

Руководители: Иоакиманская Наталья Борисовна, учитель физики

Иоакиманский Николай Николаевич, руководитель кружка технического творчества

МБОУ Солонцовская СОШ

Емельяновского района

Красноярского края

Цель проекта

Наглядная демонстрация преобразования внутренней энергии газа в механическую энергию и в электрическую.

Задачи:

1. Спроектировать и изготовить двигатель Стирлинга
2. Показать возможность двигателя Стирлинга для преобразования внутренней энергии топлива в механическую и электрическую.

Что такое Двигатель Стирлинга ?

Можно ли получить энергию для зарядки мобильного телефона от тепла человеческого тела или кружки кипятка? Можно ли, используя разницу температур между колодезной водой и атмосферным воздухом, снабдить электричеством загородный дом?

Ответ на все эти вопросы один **ДА! МОЖНО!** Это могут "стирлинг-машины" или, как их еще называют - двигатели Стирлинга.

Мы хотим рассказать о самом необычном, на наш взгляд, преобразователе тепловой и механической энергии. Данный тип двигателей изобретен в девятнадцатом веке не физиком и не механиком, а священником! История Стирлинг-машин невероятна. Они прошли стадию подъема, затем были забыты, однако пережили паровые двигатели, двигатели внутреннего сгорания и снова возродились в двадцатом веке. Сегодня над их созданием трудятся многие инженеры и любители. Стоит отметить, что универсальной методики расчета Стирлинг-машин не существует до сих пор, хотя с момента их изобретения прошло почти два века! Львиная доля технических решений и методик расчета при создании опытных образцов двигателей Стирлинга автоматически становится "ноу-хау" компаний-разработчиков и тщательно скрывается. Двигатели Стирлинга не встретишь в свободной продаже, как газонокосилки или автономные генераторы. При этом "Стирлинги" используются в качестве энергоустановок на космических спутниках, применяются как маршевые двигатели на современных подводных лодках Стирлинг-машины с одинаковым успехом можно "вмонтировать" и в триммер для стрижки газонов, и в марсоход. В конструкции двигателя нет клапанов, распределительных валов, отсутствует система зажигания в ее привычной форме, нет стартера! Некоторые конструкции обладают эффектом самозапуска. Для работы годится любой источник тепла: энергия солнца, навоз, сено, дрова, уголь, нефть, газ, ядерный реактор - подойдет все! И при данной "всеядности" коэффициент полезного действия "Стирлингов" не уступает показателям двигателей внутреннего сгорания. Но и это не все. Стирлинг-машины обратимы. Т.е. подводя тепловую энергию, получаем механическую, раскручивая маховик двигателя вырабатываем холод. В общем чудес и загадок вокруг стирлинг-машин полным-полно. Интересно, не правда ли? Если хотите узнать о "Стирлингах" больше - оставайтесь с нами

Кто такой Роберт Стирлинг ?



Роберт Стирлинг родился на родине килта и виски – в Шотландии, в 1790 году. Еще во время учебы в университете молодой пастор проявил немалую склонность к инженерным наукам, и свободное время посвящал разработке «безопасного» двигателя. В то время паровые машины уже активно эксплуатировались, но обладали одной неприятной особенностью – из-за низкой прочности стали у них часто взрывались котлы. Стирлинг искал решение данной проблемы. Поскольку выбор материалов для котлов оказался невелик, преподобный Роберт просто отказался от пара и придумал новый тип двигателя на воздухе, но главное – ввел в цикл работы двигателя регенерацию тепла. 19 сентября 1816 года Стирлинга назначают священником церкви Лэй-Кири в Килмарноке, а уже 21 сентября того же года в Эдинбурге (Шотландия) он патентует устройство называемое «экономайзер» или устройство для экономии тепла (английский патент №4081).

Сегодня это устройство называется регенератор или теплообменник. Регенератор - сердце всех современных Стирлинг-машин. Позднее еще дважды: в 1827 и в 1840 годах Стирлинг патентует усовершенствованные образцы своей машины. Он упорно движется к цели – созданию «безопасного двигателя». И в 1845 году, не без помощи младшего брата Джеймса и друга - Томаса Мортгона, Стирлинг достигает результата. Машина в 50 индикаторных лошадиных сил изготавливается на литейном заводе в Дании. Аппарат использовали на шахте для откачки воды. Он успешно проработал три года, но был разобран по причине частого выхода из строя. Дело было не в конструкции – она идеальна, и переключалась в современные типы Стирлинг-машин без особых изменений. Проблему создавали материалы, не имеющие достаточной прочности. Металл рабочего цилиндра не выдерживал постоянного перепада температур и давления. На склоне лет, Роберт Стирлинг в одном из своих писем 1876 года особо отмечал важность изобретения Генри Бессемера – получение высокопрочной стали. Стирлинг выражал надежду, что данная сталь откроет перспективы и его «машинам на воздухе». На протяжении всей жизни, в своей домашней мастерской Стирлинг конструировал и изготавливал модели тепловых машин. Позднее, одну из этих моделей использовал лорд Кельвин для университетских лекций. Не смотря на бурную изобретательскую деятельность, Роберт Стирлинг оставался пастором и продолжал вести службы. Умер изобретатель-священник 6 июня 1878 года в шотландском городке Галстон, в Восточном Айршире. Каким образом Стирлингу удалось изобрести двигатель с максимально возможной термодинамической эффективностью – остается загадкой. Но, то, что этот неуемный шотландец за свои 88 лет сумел прожить две жизни – жизнь талантливого инженера-конструктора и священника - бесспорный факт. Стирлинг опередил свое время более чем на сто лет. Его выдающееся изобретение послужило толчком к значительному усовершенствованию паровых машин, пережило многие технические новинки двигателестроения и возрождается заново в наши дни.

Двигатель Стирлинга сегодня

Двигатель, предложенный самим Робертом Стирлингом, имел значительные массо-габаритные характеристики и низкий КПД. Из-за сложности процессов в таком двигателе, связанных с непрерывным движением поршней, первый упрощенный математический аппарат разработан только в 1871 году пражским профессором Г. Шмидтом. Предложенный им метод расчета основывался на идеальной модели цикла Стирлинга и позволял создавать двигатели с КПД не превышающем 15%. Лишь к 1953 году голландской фирмой «Филипс» разработаны первые высокоэффективные двигатели Стирлинга, превосходящие по характеристикам двигатели внутреннего сгорания.

Мировой интерес к этому типу двигателей с того времени продвинулся из области теоретических построений в плоскость практической реализации в самых разных сферах. За рубежом уже начато производство двигателей Стирлинга, технические характеристики которых уже сейчас превосходят ДВС и газотурбинные установки. Так, двигатели Стирлинга фирм Philips, STM Inc., Daimler Benz, Solo, United Stirling мощностью от 5 до 1 200 кВт имеют эффективный КПД более 42 %, ресурс - более 40 тыс. ч, удельную массу от 1,2 до 3,8 кг/кВт.

В США стартовал проект создания солнечной электростанции с использованием двигателя Стирлинга в качестве прямого преобразователя тепловой энергии в механическую. На фото Чак Андрака (Chuck Andraka, слева) и глава Stirling Energy Systems Боб Лиден (Bob Liden) на фоне первой установки в испытательном центре Сандия (фото с сайта sandia.gov). Теоретически КПД Стирлинга может совпадать с физическим пределом, определяемым разностью температур нагревателя и холодильника, да и на практике можно получить от стирлингов КПД порядка 70%. По расчётам авторов проекта, в теории одна ферма солнечных стирлингов, под которую отвели бы территорию 160 x 160 километров на юге США, полностью покрыла бы всю потребность страны в электроэнергии. На сегодняшний день прототипы успешно проходят испытания, но стоимость каждого еще слишком высока (более 150 тысяч долларов США), что тормозит массовое внедрение.

Подобными разработками интересуются и в Швеции. На сайте компании "Cleanergy" вниманию посетителей представлен новый концепт солнечной миниэлектростанции для получения электроэнергии. Создан как полномасштабный образец с гелиоконцентратором на подвижной с закрепленным в фокусе стирлингом, так и отдельный когенерационный агрегат для получения электроэнергии и тепла общей мощностью 9 кВт (однако, стоит отметить, что из 9 кВт только 2кВт - электроэнергия, остальные 7кВт - тепло для обогрева помещений).



Экспериментальная гелиоэлектростанция на основе Стирлинга

Наиболее бурное развитие двигателей Стирлинга происходит в сфере военных технологий. Быстрыми темпами создаются опытные и серийные образцы Стирлинг-установок для неатомных подводных лодок. Вот выдержка из статьи заслуженного изобретателя Российской Федерации, академика Академии военных наук, д.т.н. Кириллова Н.Г., посвященной данному вопросу: «...наибольших результатов в разработке анаэробных установок достиг шведский концерн Kockums Submarin Systems, построивший три ПЛ класса "Gotland" типа A19 на основе двигателей Стирлинга. На ПЛ устанавливается два двигателя V4-275R по мощности по 75 кВт. Три подводные лодки типа «Gotland» были построены фирмой Kockums в 1992 – 1996 годах. Длина субмарин – 60,4 метра, подводное водоизмещение – 1599 тонн. Экипаж – 27 человек, в том числе 5 офицеров. Вооружение: 4 X 533-мм и 2 X 400-мм торпедных аппарата. Скорость полного подводного хода – 20 узлов. При использовании двигателя Стирлинга лодки могут находиться под водой без подзарядки аккумуляторных батарей до 20 суток!



электрогенератор с приводом от Стирлинга

Самый многообещающий проект шведов связан с перспективной подводной лодкой «Викинг». Это название выбрано не случайно. В реализации проекта должны участвовать еще две скандинавские страны - Норвегия и Дания. «Кокумс», норвежская компания «Конгсберг» и датская «Оденсе столшипсваерфт» образовали консорциум для практической работы над проектом. Всего планировалось построить 12 субмарин нового поколения. По мнению ведущих специалистов, эта была бы лучшая подводная лодка XXI века. На ней планировалось установить единый двигатель Стирлинга большой мощности (ориентировочно 800 кВт).

Первыми, после шведов, перспективность анаэробных установок на основе двигателей Стирлинга поняли японцы... Для отработки технологии применения двигателей Стирлинга в 2000-2001 годах на кораблестроительной верфи «Кобе» фирмой «Мицубиси дзюкоге» были проведены работы по оснащению ПЛ «Асасио» энергетической установкой замкнутого цикла с двигателем Стирлинга.... Ходовые испытания прошли на «отлично». Поэтому уже с 2003 года японские ПЛ типа «Оясио» начали строиться с анаэробными установками на основе двигателей Стирлинга...



Японский экспериментальный низко температурный гама-стирлинг. Мощность - 300Вт, температура нагревателя 150С

Японцы ввели новое словосочетание «стирлинг-подводные лодки»... Именно для новой ПЛ с единым двигателем фирмой «Mitsubishi» создан и прошел успешные стендовые испытания двигатель Стирлинга мощностью более 600 кВт. В качестве рабочего тела двигателя используется азот.

И наконец, последними из мировых держав, окончательный выбор по типу анаэробной установки сделали американцы. Их решение однозначное – двигатели Стирлинга. Для этого в 2005 году ВМС США взяли в лизинг шведскую подводную лодку типа «Gotland», оснащенную вспомогательной воздухонезависимой установкой Стирлинга...»

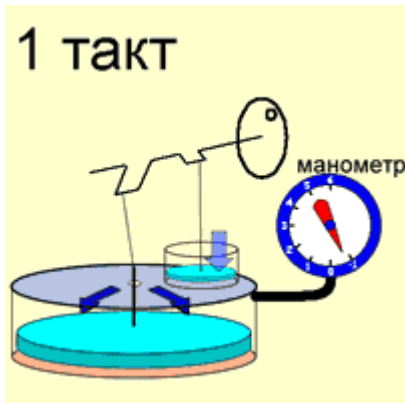
Как можно видеть все развитые страны ударными темпами разрабатывают и внедряют Стирлинги в серийное производство. И не удивительно, при сопоставимой с ДВС мощности Стирлинг-двигатели имеют высокий крутящий момент почти на всех режимах работы, малошумны, «всеядны» в плане топлива и могут работать в любых условиях.



Стирлинг от "NASA" для эксплуатации в космосе

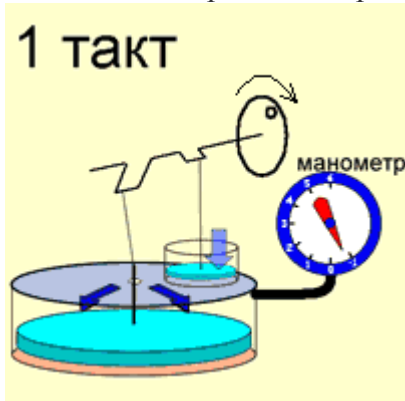
Специалистами NASA (Национального Аэрокосмического Агентства США) были проделаны предварительные проработки проекта создания обитаемой базы на Луне. В качестве основного источника энергии для работы в условиях лунной поверхности был выбран атомный реактор SP-100 с тепловой мощностью 2500 кВт и 8 электрических генераторов, работающих от двигателей Стирлинга. В проекте приводится подробное техническое описание реакторной установки, конструкции и теплового подсоединения двигателей Стирлинга, систем отвода тепла и распределения мощности. К Стирлингам интерес проявляли и в России. В 1996 году на ОАО «Машиностроительный завод «АРСЕНАЛ», в рамках договора с ГП ГОКБ «Прожектор» были начаты работы по теме «Исследование и разработка электроагрегатов на базе многотопливных двигателей Стирлинга». Но, к сожалению, работы в данном направлении были приостановлены из-за отсутствия дальнейшего финансирования проекта. В настоящее время в России накоплен достаточный научный потенциал для создания высокоэффективных двигателей Стирлинга. Значительные результаты были достигнуты в ООО «Инновационно-исследовательский центр «Стирлинг-технологии». Специалистами были проведены теоретико-экспериментальные исследования для разработки новых методов расчета высокоэффективных двигателей Стирлинга. Основные направления работ связаны с применением двигателей Стирлинга в когенерационных установках и системах использования теплоты отработанных газов, например в мини-ТЭЦ. В результате были созданы методики разработки и опытные образцы двигателей мощностью 3 кВт. Не менее мощное развитие получили Стирлинг-машины в области криогенной техники. Поскольку Стирлинги обратимы, на их базе создано множество холодильных машин без фреона – газа, используемого в обычных холодильных компрессорах. Данное преимущество позволило уменьшить габариты системы охлаждения и повысить ее производительность. Холодильные машины, работающие по обратному циклу Стирлинга, наиболее эффективны в диапазоне криогенных температур (очень низкие температуры), в более высоком диапазоне температур (низкие температуры, используемые в промышленности и в быту) в настоящее время главным образом работают фреоновые парокомпрессионные холодильные машины. Криогенные стирлинг -машины находят все большее применение в радиоэлектронных системах, где требуется мощное охлаждение, но отсутствуют условия для применения стандартных способов охлаждения (например термопарами). Некоторые фирмы, в том числе такие, как «Малакер и Хьюз эйркрафт», США (Malakar Labs Inc., Hughes Aircraft Co.) выпускают для продажи небольшие (или даже миниатюрные) криогенные машины. Эти компании совместно с Северо-Американским отделением фирмы Филипс (North American Philips Inc.), специализирующиеся на производстве миниатюрных охладителей, считают своей основной целью производство небольших криогенных машин для электронной промышленности, где они используются в основном для мощного охлаждения инфракрасных детекторов, применяемых в различных военных и гражданских целях. По материалам статьи д.т.н. Кириллова Н.Г. и книги Г.Уокера "Машины, работающие по циклу Стирлинга"

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ СТИРЛИНГОВ



Цикл Стирлинга

В двигателях внутреннего сгорания (ДВС) распыленное топливо соединяется с окислителем, как правило воздухом, до фазы сжатия или после этой фазы, и образовавшаяся горючая смесь отдает свою энергию во время кратковременной фазы горения. В двигателе Стирлинга энергия поступает в двигатель и отводится от него через стенки цилиндра или теплообменник. Еще одним существенным различием между двигателем внутреннего сгорания и двигателем Стирлинга является отсутствие в последнем клапанов, поскольку рабочее тело (газ) постоянно находится в полостях двигателя. Цикл Стирлинга основан на последовательном нагревании и охлаждении газа (его называют рабочим телом) в замкнутом объеме. Рабочее тело нагревается в горячей части двигателя, расширяется и производит полезную работу, после чего перегоняется в холодную часть двигателя где охлаждается, сжимается и снова подается в горячую часть двигателя. Цикл повторяется. Количество рабочего тела остается неизменным, меняется его температура, давление и объем. Весь цикл условно разделен на четыре такта. Условность заключается в том, что четкое разделение на такты в цикле отсутствует, процессы переходят один в другой. Это обусловлено отсутствием в конструкции двигателей Стирлинга клапанного механизма (стирлинг-двигатели с клапаным механизмом называются двигателями Эриксона). С одной стороны данный факт резко упрощает конструкцию, с другой стороны вносит сложность в теорию расчета. Но об этом позже. Рассмотрим принцип работы на примере гама-стирлинга. Этот тип наиболее часто применяют в моделировании. Двигатель состоит из двух цилиндров. Большой цилиндр - теплообменный. Его задача поочередно разогревать и охлаждать рабочее тело. Для этого один торец цилиндра разогревают (на схеме он закрашен розовым цветом), другой торец - охлаждают (на схеме он закрашен синим цветом). Большой поршень выполненный из теплоизоляционного материала, свободно перемещается в теплообменном цилиндре (зазор между стенками цилиндра и поршня составляет 1-2 мм) и выполняет роль теплового клапана, перегоняющего рабочее тело то к холодному, то к горячему торцу. Малый цилиндр является рабочим. Поршень плотно подогнан к цилиндру.



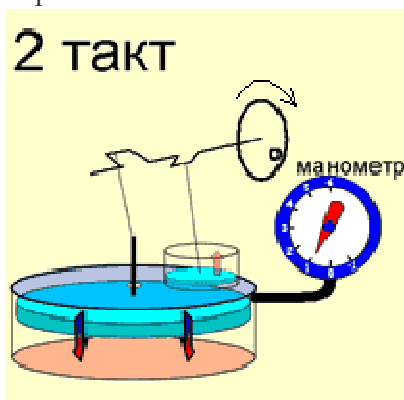
Гамма стирлинг. Первый такт

Первый такт - такт сжатия при постоянной температуре рабочего тела:

Поршень теплообменного цилиндра находится вблизи нижней мертвой точки (НМТ) и остается условно неподвижным. Газ сжимается рабочим поршнем малого цилиндра. Давление газа

возрастает, а температура остается постоянной, так как теплота сжатия отводится через холодный торец теплообменного цилиндра в окружающую среду

ОБРАТИТЕ ВНИМАНИЕ: Под условной неподвижностью подразумевают малую высоту перемещения поршня при прохождении коленвалом расстояния вблизи верхней или нижней мертвой точки.

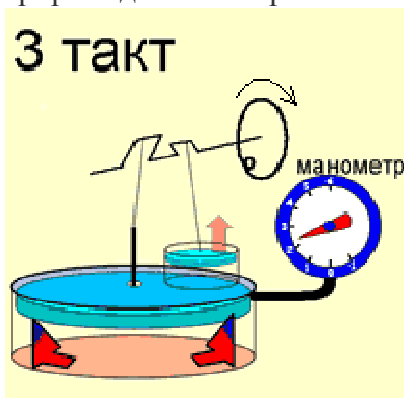


Гамма стирлинг. Второй такт

Второй такт – такт нагревания при постоянном объеме:

рабочий поршень рабочего цилиндра находится вблизи НМТ и полностью перемещает холодный сжатый газ в теплообменный цилиндр, поршень которого движется к верхней мертвой точки (ВМТ) и вытесняет газ в горячую полость. Так как при этом суммарный внутренний объем цилиндров двигателя остается постоянным, рабочее тело разогревается давление повышается и достигает максимального значения.

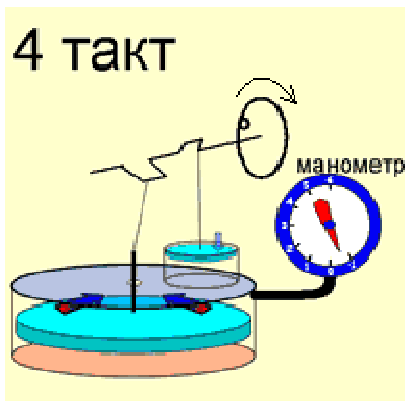
Это в теории. На практике прирост давления идет параллельно с выталкиванием рабочего поршня. В результате давление не достигает теоретически рассчитанного максимума. Данный факт также объясняет хороший к.п.д. на малых оборотах двигателя. Рабочее тело прогревается лучше и прирост давления приближается к максимуму.



Гамма стирлинг. Третий такт

Третий такт - такт расширения при постоянной температуре газа:

поршень теплообменного цилиндра находится вблизи верхней мертвой точки (ВМТ) и остается условно неподвижным. Поршень рабочего цилиндра под действием давления газа движется к верхней мертвой точке. Происходит расширение горячего газа в полости рабочего цилиндра. Полезная работа, совершаемая поршнем рабочего цилиндра, через кривошипно-шатунный механизм передается на вал двигателя. Давление в цилиндрах двигателя при этом падает, а температура газа в горячей полости остается постоянной, так как к нему подводится тепло от источника тепла через горячую стенку цилиндра. В моделях двигателей Стирлинга, где теплообменный цилиндр не имеет качественного нагревателя рабочее тело разогревается не полностью, но поскольку давление в газах распространяется равномерно во все стороны его изменение оказывает действие и на рабочий поршень, заставляя его двигаться и совершать работу.



Гама стирлинг. Четвертый такт

Четвертый такт - такт охлаждения при неизменном объеме:

поршень рабочего цилиндра находится вблизи ВМТ и остается условно неподвижным. Поршень теплообменного цилиндра движется к НМТ и перемещает газ, оставшийся в горячей части в холодную часть цилиндра. Так как при этом суммарный внутренний объем цилиндров двигателя остается постоянным, давление газа в них продолжает падать и достигает минимального значения.

В моделях, содержащих рабочее тело при атмосферном давлении четвертый такт также является рабочим, поскольку давление падает резко и возникает кратковременное разряжение. В результате рабочий поршень с усилием втягивается в цилиндр, совершая дополнительную работу. Из четырех тактов два - рабочие!

"Школьная технология" для стирлингов

Все, что можно изготовить без особых усилий в кабинете физики "школьная технология". Но не думайте, что данный уровень "ниже плинтуса". Все зависит от имеющегося инструмента. Базовый набор выглядит примерно так: шило, острый нож или лезвие, ножницы из хорошей стали, отвертка, плоскогубцы, минитиски, набор надфилей, паяльник, электродрель и набор сверел по металлу от 1 мм до 5 мм. На первый взгляд - не богато. Ошибаетесь. Перечислим, что можно изготовить имея все это. Проволочный или сложный составной коленвал, подшипники скольжения, стойки и шатуны поршней, цилиндры и поршни к ним диаметром до 25-30 мм., герметичные сальники и штоки под них. Сейчас в больших магазинах бытового инструмента можно приобрести устройство для гравировки с массой насадок. Многие применяют его, как минифрезерный станок. Если в Ваших краях нет такой штуки - можно смастерить или купить тиски для сверления с двумя степенями подвижности по горизонтали. В купе с вертикальной струбциной для дрели получаете фрезерный станок... В конечном итоге не важно, какой набор инструментов имеется. Главное, чтобы было желание. И все получится!



Рис.1 Наш первый гамма- Стирлинг

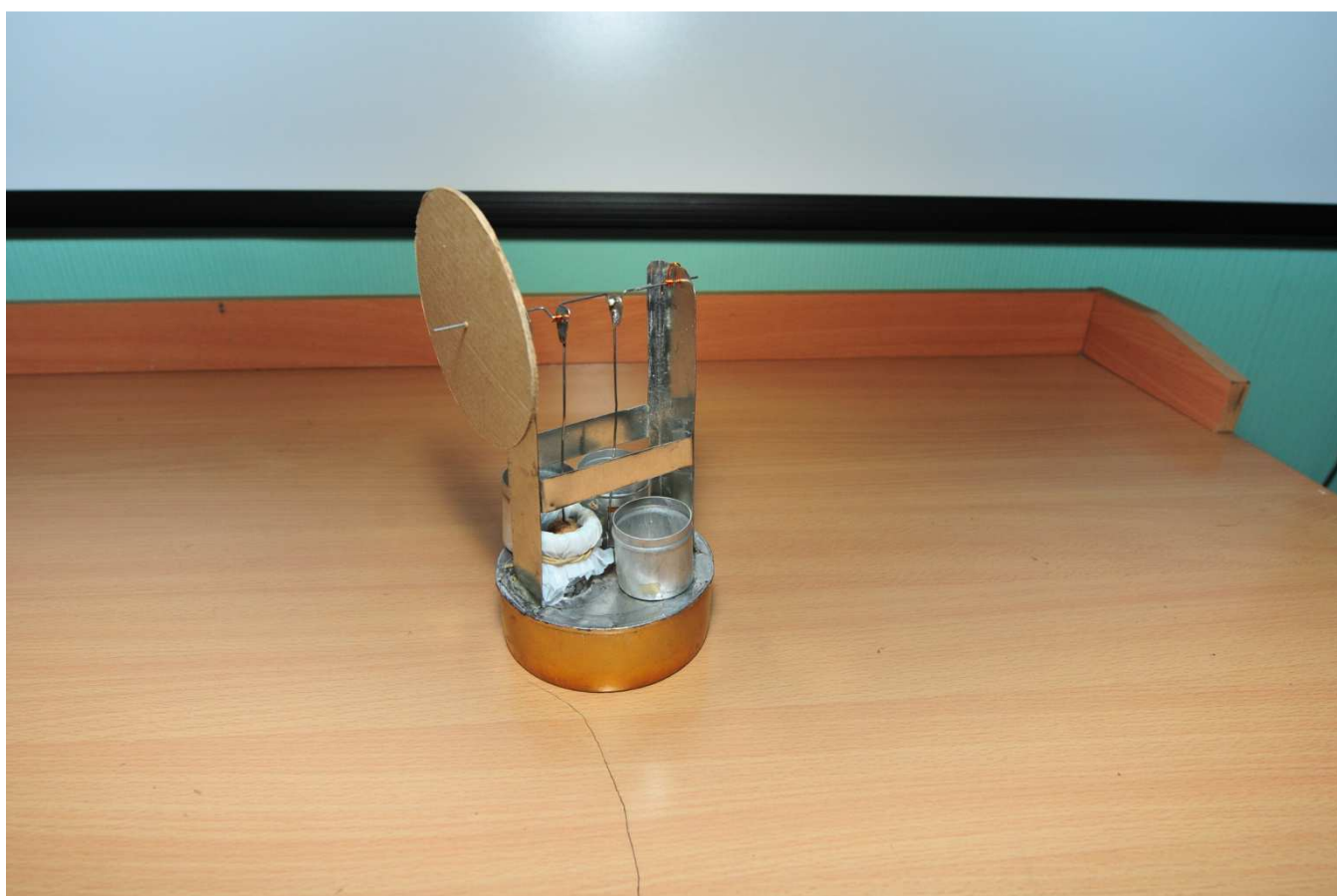


Рис. 2 Гамма- Стирлинг из консервной банки

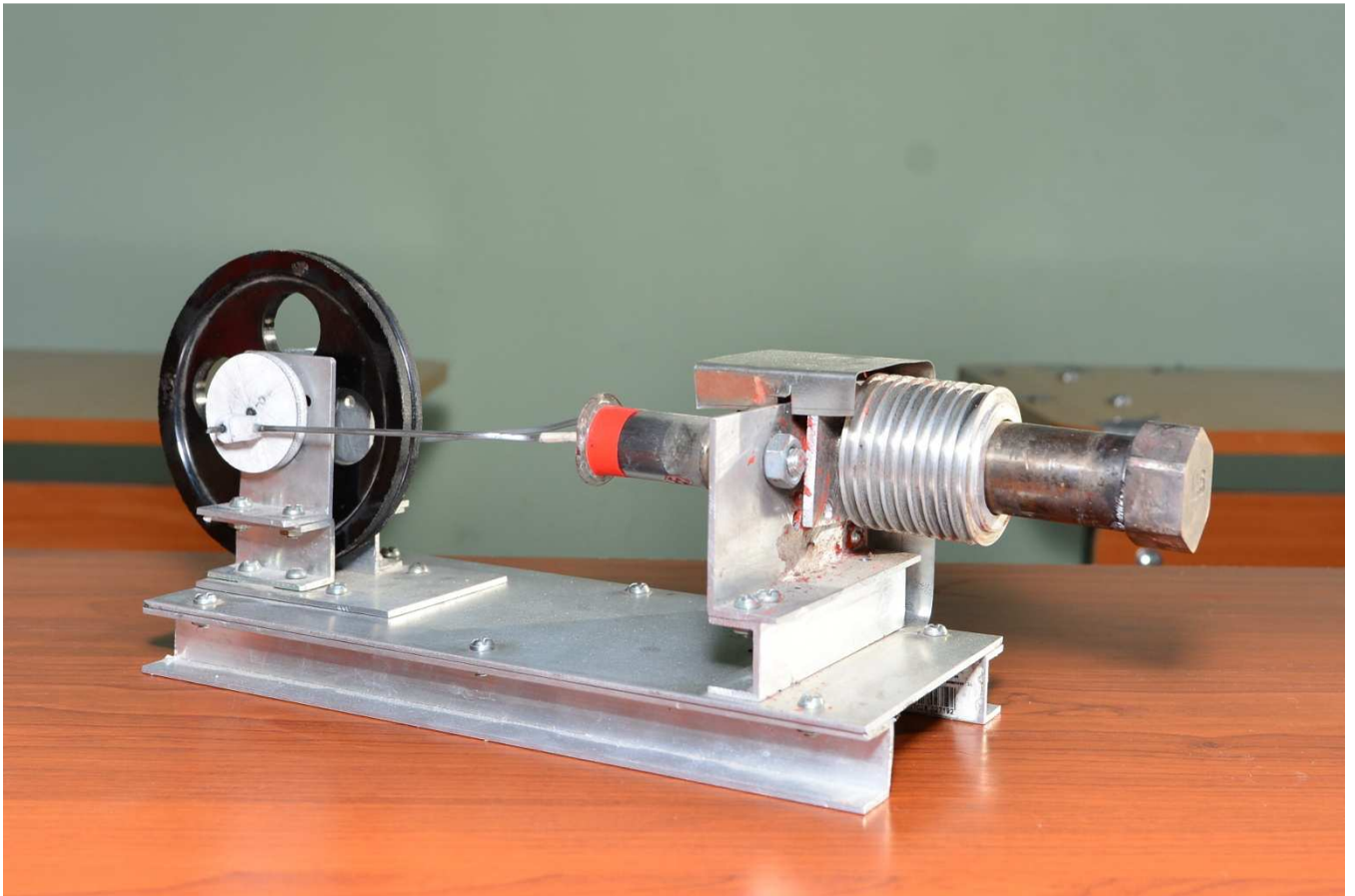


Рис. 3 Высокотемпературный Стирлинг



Рис. 4 Высокотемпературный Стирлинг с генератором



Рис.5 Разогрев Стирлинга

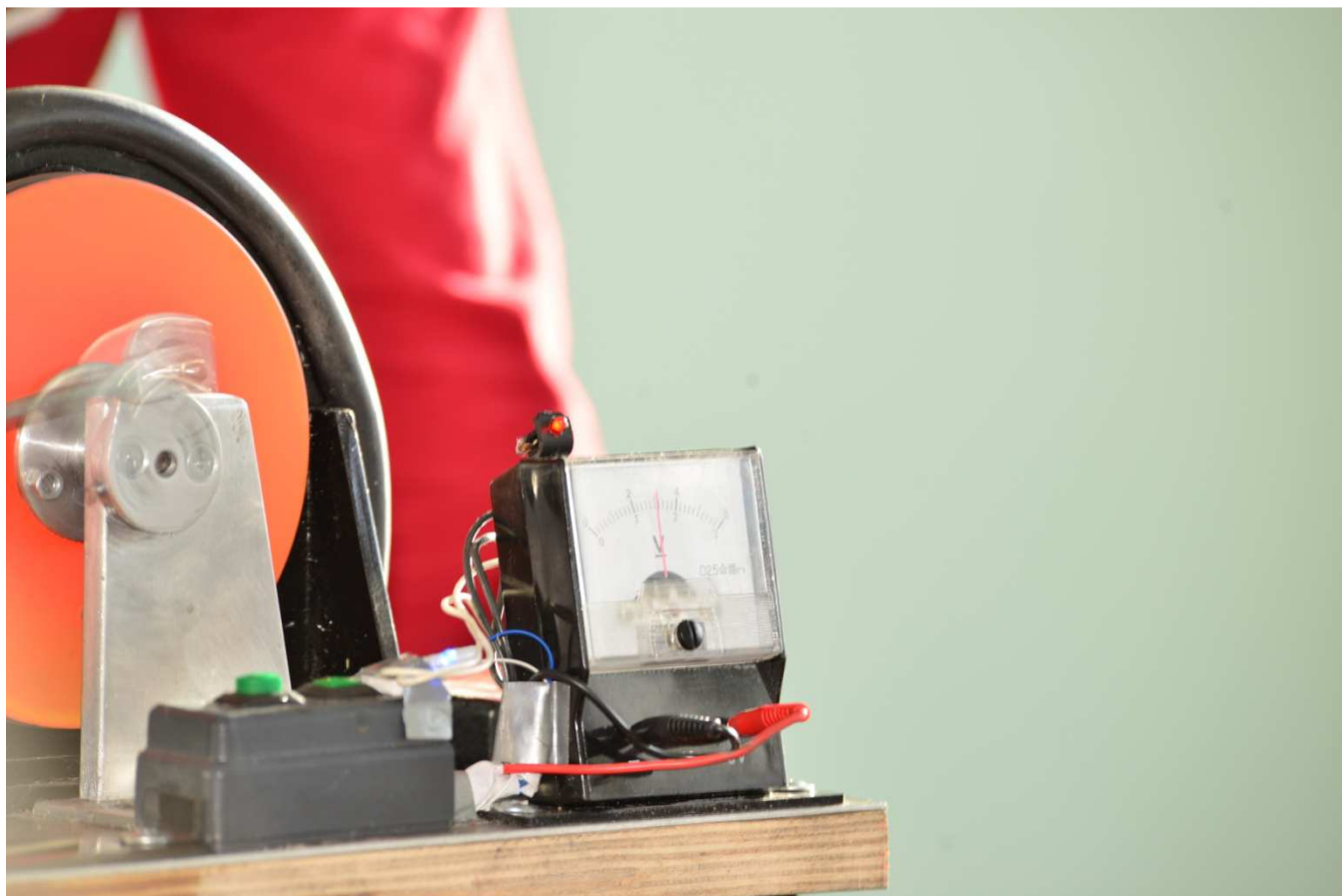


Рис. 6 Генератор, который раскручивается Стирлингом. Ротор генератора состоит из двух дисков. На каждом диске по 12 неодимовых магнитов, которые вращаются вокруг 9 катушек, соединённых «звездой»



Рис. 7 На максимальных оборотах генератор выдаёт до 10 V постоянного тока. Переменный трёхфазный ток, который выдаёт генератор выпрямляется диодным мостом (виден справа от вольтметра)



Стирлинги, изготовленные в кабинете физики Солонцовской средней школы.

Термодинамика Стирлинга.

В XIX веке инженеры хотели создать безопасную альтернативу паровым двигателям того времени, котлы которых часто взрывались из-за высоких давлений пара и неподходящих материалов для их постройки. Хорошая альтернатива паровым машинам появилась с созданием двигателей Стирлинга, который мог преобразовывать в работу любую разницу температур. Основной принцип работы двигателя Стирлинга заключается в постоянно чередуемых нагревании и охлаждении рабочего тела в закрытом цилиндре. Обычно в роли рабочего тела выступает воздух, но также используются водород и гелий. В ряде экспериментальных образцов испытывались фреоны, двуокись азота, сжиженный пропан-бутан и вода. В последнем случае вода остаётся в жидком состоянии на всех участках термодинамического цикла. Особенностью стирлинга с жидким рабочим телом является малые размеры, высокая удельная мощность и большие рабочие давления. Существует также стирлинг с двухфазным рабочим телом. Он тоже характеризуется высокой удельной мощностью, высоким рабочим давлением.

Из термодинамики известно, что давление, температура и объём идеального газа взаимосвязаны и следуют закону $PV = nRT$, где:

- P — давление газа;
- V — объём газа;
- n — количество молей газа;
- R — универсальная газовая константа;
- T — температура газа в кельвинах.

Это означает, что при нагревании газа его объём увеличивается, а при охлаждении — уменьшается. Это свойство газов и лежит в основе работы двигателя Стирлинга.

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. Практическая реализация этого цикла малоперспективна. Цикл Стирлинга позволил получить практически работающий двигатель в приемлемых габаритах.

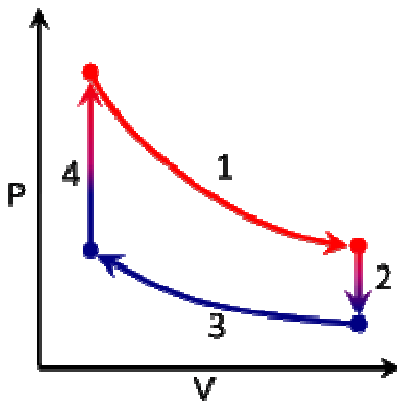


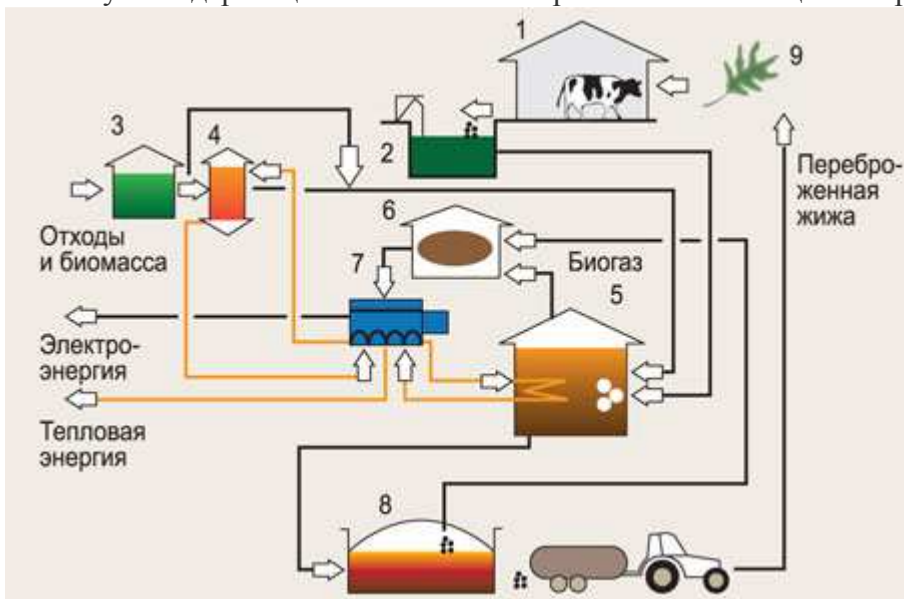
Диаграмма «давление-объём» идеализированного цикла Стирлинга

Цикл Стирлинга состоит из четырёх фаз и разделён двумя переходными фазами: нагрев, расширение, переход к источнику холода, охлаждение, сжатие и переход к источнику тепла. 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 рекуператором. В идеале количество тепла, отдаваемое и отбираемое рекуператором, одинаково. Полезная работа производится только за счёт изотерм, то есть зависит от разницы температур нагревателя и охладителя.

Плюсы стирлингов

- 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. В

- конструкции двигателя отсутствует система высоковольтного зажигания, клапанная система и, соответственно, распредвал. Грамотно спроектированный и технологично изготовленный двигатель Стирлинга не требует регулировки и настройки в процессе всего срока эксплуатации.
- В ДВС сгорание топливо-воздушной смеси в цилиндре двигателя является, по сути, взрывом со скоростью распространения взрывной волны 5-7 км/сек. Этот процесс дает чудовищные пиковые нагрузки на шатуны, коленчатый вал и подшипники. Стирлинги лишены этого недостатка.
 - 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. Простота конструкции позволяет длительно эксплуатировать Стирлинг в автономном режиме.
 - Двигатель Стирлинга может использовать любой источник тепловой энергии, начиная с дров и заканчивая ядерным топливом!
 - Сгорание топлива происходит вне внутреннего объема двигателя (в отличие 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).





3dnews.ru->novostey.com

Минусы стирлингов - Поскольку сгорание топлива происходит вне двигателя, а отвод тепла осуществляется через стенки радиатора (напомним, что Стирлинги имеют замкнутый объем) габариты двигателя увеличиваются.

- Еще один минус - материалоемкость. Для производства компактных и мощных Стирлинг-машин требуются жаропрочные стали, выдерживающие высокое рабочее давление и в то же время, обладающие низкой теплопроводностью. Обычная смазка для Стирлингов не годится - коксуеться при высокой температуре, поэтому необходимы материалы с низким коэффициентом трения.

- Для получения высокой удельной мощности в качестве рабочего тела в Стирлингах используют водород или гелий. Водород взрывоопасен, при высоких температурах растворяется в металлах, образуя металлогидриды - т.е. разрушает цилиндры двигателя. К тому же водород, как и гелий обладает высокой проникающей способностью и просачивается через уплотнения подвижных частей двигателя, снижая рабочее давление.

Используемая литература

1. Ридер Г., Хупер Ч. Двигатели Стирлинга: Пер.с англ. – М.: Мир, 1986.
2. Уокер Г. Машины, работающие по циклу Стирлинга:Пер. с англ. М.: Энергия,19
3. Уокер Г. Двигатели Стирлинга: Пер.с англ. – М.: Машиностроение,1985.
4. Бреусов В. Стирлинги уже давно работают в космосе. – Журнал «Колеса»(статья).
5. Двигатели Стирлинга. Пер.с англ. Под ред.В.М.Бродянского. М.: Мир,1975
6. Двигатели Стирлинга / [В.Н. Даниличев,С.И. Ефимов, В.А. Звонок и др.];под ред. М.Г.Круглова. – М.:«Машиностроение», 1977.
7. «Двигатель с внешним подводом теплоты». Патент №2105156 от23 июня 1995 г., РФ