



муниципальное бюджетное общеобразовательное учреждение
«Средняя общеобразовательная
школа № 25 г. Пензы им. В.П.Квышко»
(МБОУ СОШ № 25 г. Пензы
им. В.П.Квышко)

Исследовательская работа на тему:
«Двигатель Стирлинга»

Работу выполнил:
ученик 10А класса
МБОУ СОШ №25 г. Пензы им. В.П. Квышко
Жуков Александр

Руководитель:
учитель физики
МБОУ СОШ №25 г. Пензы им. В.П. Квышко
Пронина Анастасия Дмитриевна

Пенза, 2022

Содержание

Введение.....	3
Глава 1 Теоретическая часть	3
1.1 История изобретения двигателя Стирлинга	3
1.2 Принцип работы двигателя Стирлинга.....	4
1.3 Три основных варианта двигателя Стирлинга	5
1.4 Современные области применения двигателей Стирлинга	6
1.5 КПД двигателя Стирлинга	8
Глава 2 Практическая часть.....	9
2.2 Определение КПД двигателя	14
Вывод.....	14
Список литературы	14

Введение

В наше время каждый должен быть заинтересован в улучшении экологии Земли. Одним из главных факторов ухудшения окружающего мира можно назвать большое количество вредных выбросов в атмосферу. Распространенные в настоящее время двигатели внутреннего сгорания имеют целый ряд недостатков: их работа сопровождается шумом, вибрациями, они выделяют вредные отработавшие газы, загрязняя 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.

Данная тема меня очень заинтересовала, и я решил поподробнее разобраться в устройстве и принципе действия изобретения, а также создать собственную модель двигателя Стирлинга.

Цель проекта: изучение принципов работы двигателя Стирлинга, а также создания модели такой тепловой машины в домашних условиях и сравнение ее с бензиновыми и дизельными двигателями.

Задачи проекта:

- проанализировать научно – методическую литературу по данной тематике;
- создать действующую модель двигателя;
- рассчитать КПД данного двигателя и сравнить его с КПД двигателей внутреннего сгорания.

Объект исследования: двигатель Стирлинга.

Предмет исследования: принцип и условия работы двигателя Стирлинга.

В процессе работы были использованы следующие методы: практическое моделирование, сравнение, анализ и синтез, математический анализ

Глава 1 Теоретическая часть

1.1 История изобретения двигателя Стирлинга

Двигатель Стирлинга был впервые запатентован шотландским священником Робертом Стирлингом 27 сентября 1816 год (английский патент № 4081 1819). Однако первые элементарные «двигатели горячего воздуха» были известны ещё в конце XVII века, задолго до Стирлинга. Достижением Стирлинга является добавление узла, который он назвал «эконом».

В современной научной литературе этот узел называется «регенератор». Он увеличивает производительность двигателя, удерживая тепло в тёплой части двигателя, в то время как рабочее тело охлаждается. Этот процесс намного повышает эффективность системы. Чаще всего регенератор представляет собой камеру, заполненную проволокой, гранулами, гофрированной фольгой (гофры идут вдоль направления потока газа). Газ, проходя через наполнитель в одну сторону, отдаёт тепло регенератору, а при движении в другую сторону отбирает его. Регенератор может быть внешним по отношению к цилиндрам, а может быть размещён на поршневытеснителе в β - и γ -конфигурациях. В последнем случае размеры и вес машины оказываются меньше. Частично роль регенератора выполняет зазор между вытеснителем и стенками цилиндра (при длинном цилиндре необходимость в таком устройстве вообще исчезает, но

появляются значительные потери из-за вязкости газа). В α -стирлинге регенератор может быть только внешним. Он устанавливается последовательно с теплообменником, в котором происходит нагрев рабочего тела, со стороны холодного поршня.

В 1843 году брат изобретателя, Джеймс Стирлинг, использовал этот двигатель на заводе, где он в то время работал инженером. В 1938 году фирма «Филипс» инвестировала в двигатель Стирлинга мощностью более двухсот лошадиных сил и отдачей более 30 %. Двигатель Стирлинга имеет много преимуществ и был широко распространён в эпоху паровых машин.

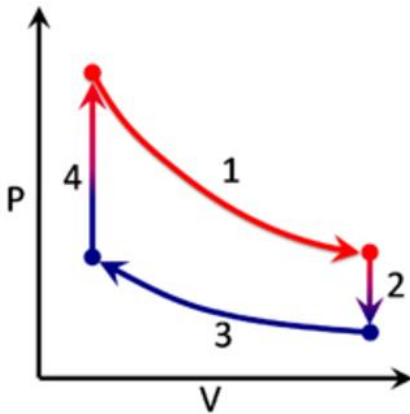


Рис.1 Диаграмма «давление-объём» идеализированного цикла Стирлинга

1.2 Принцип работы двигателя 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:

$$PV = nRT, \text{ где}$$

- P — давление газа;
- V — объём газа;
- n — количество молей газа;
- R — универсальная газовая константа;
- T — температура газа (K)

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.

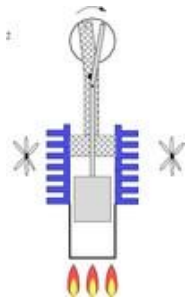
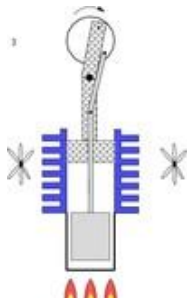
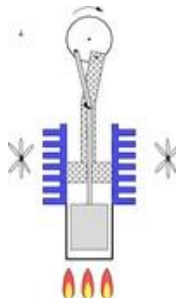
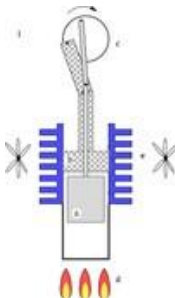
			
<p>Внешний источник тепла нагревает газ в нижней части теплообменного цилиндра. Создаваемое давление толкает рабочий поршень вверх (обратите внимание, что вытеснительный поршень неплотно прилегает к стенкам).</p>	<p>Маховик толкает вытеснительный поршень вниз, тем самым перемещая разогретый воздух из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

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

1.3 Три основных варианта двигателя Стирлинга

- **Модификация Альфа**

Мотор устроен таким образом, что он имеет и горячий цилиндр-поршень, и холодный цилиндр-поршень. Горячий поршень толкается от расширения воздуха, а холодный расположен в системе охлаждения и движется от остывания воздуха.

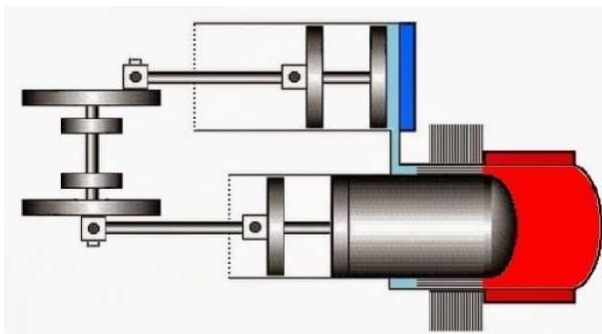


Рис. 3 Модификация альфа

- **Модификация Бета**

Данная конструкция предполагает, что цилиндр и поршень нагреваются с одной стороны и охлаждаются с другой. Поршень толкает в сторону холодной части, а вытеснитель толкает в сторону горячей. Регенератор перемещает остывший воздух в горячий рабочий объем цилиндра.

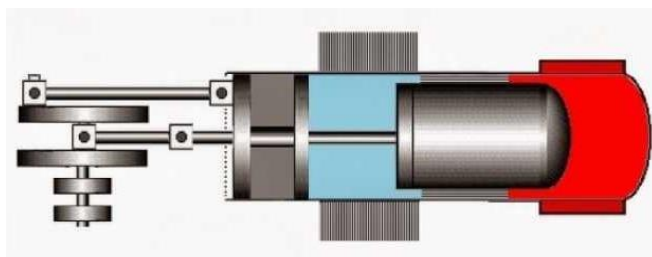


Рис. 4 Модификация бета

- **Модификация Гамма**

Устройство данной модификации состоит из двух цилиндров и поршней. Имеет регенератор циркуляции газа. Один цилиндр горячий с одной стороны и холодный с другой, в нем поршень и вытеснитель. Второй цилиндр полностью холодный, там только поршень.

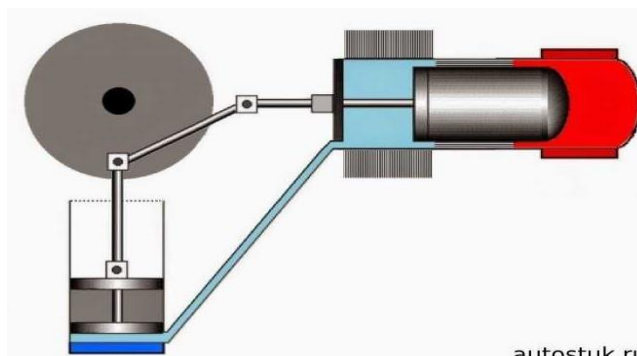


Рис. 5 Модификация гамма

1.4 Современные области применения двигателей Стирлинга

В наши дни ДС переживают второе рождение во многом благодаря их уникальным экологическим характеристикам. Напомним, концентрация вредных веществ в продуктах сгорания ДС на несколько порядков ниже, чем у поршневых и газотурбинных двигателей и, что не менее важно, минимальные шумы у них не превышают 60-65 дБ. Они незаменимы там, где необходимо преобразовывать тепловую энергию в механическую.

Одно из перспективных направлений современной энергетики – децентрализация энергоснабжения, которое реализуется путем строительства когенерационных установок, производящих из первичного источника топлива два или несколько видов полезной энергии

- **Когенерационная установка**

Использование ДС в когенерационных установках позволяет одновременно обеспечивать электроэнергией и теплом небольшие районы. КПД некоторых современных стирлинггенераторов достигает до 95 %.

Тепловые насосы на базе ДС работают подобно кондиционерам. Правда, они используются не для охлаждения помещений или воды, а для нагрева.



Рис. 6 Когенерационная установка

- **Тепловой насос на базе ДС**

ДС могут работать, как холодильные установки. Некоторые компании-производители холодильников уже готовы устанавливать на свои изделия ДС, что делает их более экономичными, а рабочим телом станет обычный воздух.

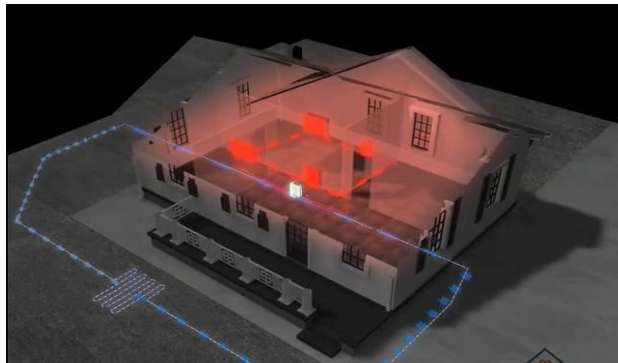


Рис. 7 Тепловой насос на базе ДС

- **Подводная лодка класса Никкен**

Малозумность ДС еще в 60-е годы привлекла внимание разработчиков подводных лодок в ряде стран. В результате в 1988 году шведская субмарина класса «Никкен» была оснащена воздухонезависимыми ДС, с которыми она проплавала свыше 10000 часов. Примеру Швеции последовала Япония, где новейшие подводные лодки класса «Сорю» были оснащены четырьмя ДС VA-275R, каждая мощностью по 8000 л. с.



Рис. 8 Подводная лодка класса Никкен

1.5 Кпд двигателя Стирлинга

Берём, к примеру, распространённый низкотемпературный Стирлинг, который работает от тепла рук. Смотрим строку, где температура нагревателя равна 36 градусов Цельсия (выделено бежевым) и какие результаты мы видим? А видим, что при температуре холодильника в 30°C (теплый летний день) КПД составит всего 1,94%, а при температуре 20°C (температура в помещении) КПД будет уже 5,18%. Ну и при нуле (положим на радиатор двигателя кусочек льда) — 11,64%, а это уже в 6 раз больше, чем в тёплый летний день!

Ещё два значения (выделены зелёным):

$T_{хол} = -30^\circ\text{C}$, $T_{нагр} = 6^\circ\text{C}$ — это значения температуры воздуха, например, в северной части России зимой и температура земли на глубине более 0,5 метра. Это к вопросу об использовании тепловой энергии земли для генерации энергии в зимний период. КПД при заданных значениях будет 12.9%

$T_{хол} = 6^\circ\text{C}$, $T_{нагр} = 60^\circ\text{C}$ (или 80°C или...) -это для энтузиастов, которые строят двигатель с нагревом от солнечных лучей. Тут опять же рассчитано охлаждение двигателя температурой недр (вкопанные радиаторы на глубине более 0,5 метра или скважина, или водоём), а температура нагревателя зависит от энергии солнечных лучей. При этом максимальную температуру нагревателя можно увеличивать при помощи дополнительных зеркал или т.н. концентраторов. Таким образом при $T_{нагр} = 60^\circ\text{C}$ КПД=16,21%, а при $T_{нагр} = 100^\circ\text{C}$ КПД=25,19%. Ну и так далее по таблице. Собираете высокотемпературный Стирлинг, ставите его в центр концентратора и генерируете экологически чистую энергию)))

Т _{нагревателя} , °С	Т холодильника, °С															
	0	6	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	-30	-200	-273	
0	0,00												10,98	73,22	99,95	
6	2,15	0,00											12,90	73,80	99,95	
20	6,82	4,78	3,41	0,00									17,06	75,05	99,95	
36	11,64	9,70	8,41	5,18	1,94											
60	18,01	16,21	15,01	12,01	9,00	6,00	3,00	0,00					27,01	78,04	99,95	
80	22,65	20,95	19,82	16,99	14,16	11,33	8,49	5,66	2,83	0,00			31,15	79,29	99,96	
100	26,80	25,19	24,12	21,44	18,76	16,08	13,40	10,72	8,04	5,36	2,68	0,00	34,84	80,40	99,96	
150	35,45	34,03	33,09	30,72	28,36	26,00	23,63	21,27	18,91	16,54	14,18	11,82	42,54	82,71	99,96	
200	42,27	41,00	40,16	38,04	35,93	33,82	31,70	29,59	27,48	25,36	23,25	21,13	48,61	84,54	99,97	
250	47,79	46,64	45,88	43,96	42,05	40,14	38,23	36,32	34,41	32,50	30,58	28,67	53,52	86,02	99,97	
300	52,34	51,30	50,60	48,85	47,11	45,36	43,62	41,87	40,13	38,38	36,64	34,89	57,58	87,24	99,97	
350	56,17	55,20	54,56	52,96	51,35	49,75	48,14	46,54	44,93	43,33	41,72	40,12	60,98	88,26	99,98	
400	59,42	58,53	57,94	56,45	54,97	53,48	51,99	50,51	49,02	47,54	46,05	44,57	63,88	89,13	99,98	
450	62,23	61,40	60,84	59,46	58,08	56,70	55,31	53,93	52,55	51,17	49,78	48,40	66,38	89,88	99,98	
500	64,67	63,89	63,38	62,08	60,79	59,50	58,20	56,91	55,62	54,32	53,03	51,74	68,55	90,54	99,98	
550	66,82	66,09	65,60	64,39	63,17	61,96	60,74	59,53	58,31	57,10	55,88	54,67	70,46	91,11	99,98	
600	68,72	68,03	67,57	66,43	65,28	64,14	62,99	61,85	60,70	59,55	58,41	57,26	72,15	91,62	99,98	
650	70,41	69,76	69,33	68,24	67,16	66,08	64,99	63,91	62,83	61,75	60,66	59,58	73,66	92,08	99,98	
700	71,93	71,31	70,90	69,88	68,85	67,82	66,79	65,77	64,74	63,71	62,68	61,66	75,01	92,48	99,98	
750	73,30	72,72	72,33	71,35	70,37	69,39	68,42	67,44	66,46	65,48	64,51	63,53	76,24	92,85	99,99	
800	74,55	73,99	73,62	72,68	71,75	70,82	69,89	68,96	68,02	67,09	66,16	65,23	77,34	93,18	99,99	
815	74,90	74,35	73,98	73,06	72,14	71,22	70,30	69,38	68,46	67,55	66,63	65,71	77,65	93,28	99,99	

Рис. 9 КПД цикла Стирлинга (Карно)

Для сравнения КПД бензинового мотора составляет всего 25 — 30 %. Если речь идет о дизельном аналоге, показатель в данном случае составляет 40 %. О 50 % может идти речь при установленном турбокомпрессоре. КПД на уровне 55 % допустим при условии использования на дизельном ДВС современной системы топливного впрыска в сочетании с турбиной так что хорошо сделанный ДС может быть полезнее двигателя внутреннего сгорания.

Глава 2 Практическая часть




2.1 Создания двигателя Стирлинга



Я решил создать двигатель Стирлинга модификации альфа с диафрагменной поршневой.



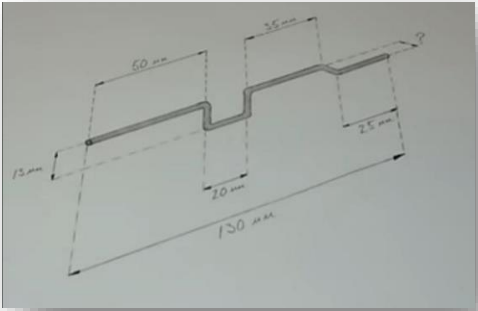
Для создания двигателя Стирлинга мне понадобятся:

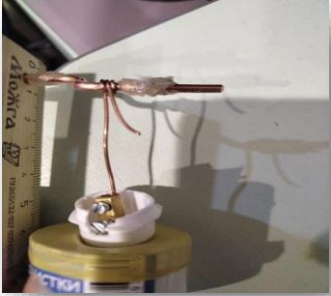


- 3 алюминиевые банки 330 мл
- Две деревянные линейки
- Большая жестяная банка
- Картон
- Леска
- Крышка
- Гайка в диаметре 35 мм и 30 мм
- Пластиковая баночка в диаметре 35 мм
- Соединительный ёрш для полипропилена в диаметре 10 мм
- Резиновую трубку с внутренним диаметром 5 мм
- Клапан сброса излишнего давления
- Пластиковая крышка и шайба
- Напальчник
- Винт
- 3 мм латунная клейма
- Очищенные медные провода
- Скрепка
- Циркуль
- Пластиковая карта
- Фольга
- Клей
- Ножницы
- Пассатижи
- Ножовка

Инструкционно - технологическая карта «Двигатель Стирлинга»

№	Операция	Инструменты и материалы	Результат операции
1	<p>Для начала вырежем из банки цилиндр для нашего двигателя в высоту он должен быть 90 мм и делаем в нём отверстие для трубы.</p> <p>Расплющим дно банки для того чтобы увеличить объём цилиндра</p>	<p>Алюминиевая банка 330мл Ножницы Линейка</p>	
2	<p>Собираем поршень нужен гофрированный картон из него вырезаем 3 детали, 2 круга диаметром 60 мм и 1 прямоугольник с высотой 35 мм и шириной 180 мм</p>	<p>Картон Ножницы Циркуль Линейка</p>	
3	<p>Склеиваем его и утяжеляем монеткой, а во вторую часть поршня продеваем леску. Заклеиваем его полностью и заворачиваем в фольгу для его увеличения жаропрочности</p>	<p>Клей Леска Монетка Фольга</p>	

4	<p>Теперь соберём охлаждающий элемент или резервуар с водой. Для этого из второй алюминиевой банки мы делаем резервуар с водой, отрезаем от нее дно на высоте 20 мм и проделываем по центру отверстие диаметром 6 мм.</p>	<p>Шуруповёрт Сверло 6 мм Ножницы Алюминиевая банка 330 мл Линейка</p>	
5	<p>Делаем герметизирующую втулку из пластиковой карты, из нее вырезаем круг с радиусом 15 мм, проделываем в нём отверстие для лески и клеим её на алюминиевую банку. С другой стороны клеим соединительный ёрш, чтобы вода не попадала в цилиндр.</p>	<p>Пластиковая карта Циркуль Ножницы Клей</p>	
6	<p>Собираем диафрагму, соединяем: пластиковую крышку, шайбу, 3 мм латунную клейму и напальчник винтом.</p>	<p>Пластиковая крышка 3 мм латунная клейма Напальчник Винт Отвёртка</p>	

7	<p>Деревянный линейки отпиливаем по 125 мм – это будут наши стойки для коленвала. Силовой часть нашего мотора станет диафрагменная поршневая. За её основу возьмём пластиковую баночку в диаметре 35 мм, проделываем в ней 2 отверстия сверлом на 6 мм, в одно вставляем клапан излишнего давления, а во вторую трубку. И присоединяем к ней диафрагму</p>	<p>Линейка Ножовка Пластиковая баночка с диаметром 35мм Шуруповёрт Сверло 6 мм Клапан Резиновая трубка Клей</p>	
8	<p>Склеиваем все имеющиеся детали и проводим небольшой эксперимент. Нагреваем нижнюю часть цилиндра и поднимаем поршень, вместе с ним должна подниматься и диафрагма. Её амплитуду от низшей точки до высшей мы должны зафиксировать, у меня получилось 16 мм, эта информация нам пригодиться в дальнейшем.</p>	<p>Клей Свеча</p>	
9	<p>Сгибаем наш коленвал, который состоит из проволоки по этой инструкции. Недостающая цифра — это как раз итог нашего небольшого эксперимента т.е. наш результат надо поделить на 2 и получим размер второго колена.</p>	<p>Проволока Пассатижи Линейка</p>	

10	<p>На центральном колене надо будет сделать крепёжное место для лески. Над диафрагмой устанавливаем шатун.</p>	<p>Пассатижи Проволока</p>	
11	<p>Из третьей алюминиевой банки вырезаем лопасти и утяжеляем их крышкой с шайбой. Из второй деревянной линейки делаем стойку и приклеиваем её параллельно первой.</p>	<p>Алюминиевая банка 330 мл Ножницы Крышка Шайба диаметром 35 мм Линейка Ножовка</p>	
12	<p>Собираем весь двигатель и помещаем его на подставку, которую предварительно вырезали из жестяной банки. В подставке должно быть 3 отверстия: одно круглое диаметром 66 мм, второе квадратное со стороной в 35 мм, третье прямоугольное такое чтобы свободно помещалась свеча.</p>	<p>Жестяная банка Ножницы Циркуль Линейка</p>	

13	И получаем готовый двигатель Стирлинга.		
----	-----------------------------------------	--	-------------------------------------------------------------------------------------

2.2 Определение КПД двигателя

А теперь проведём небольшое исследование. Температура свечи в среднем 800 градусов Цельсия, а температура воды после того как она доходит до рабочей температуры становится примерно 40 градусов. Подставляем эти цифры в таблицу и получаем что КПД у такого маленького двигателя в идеальных условиях получается примерно 70%, что намного лучше, чем у двигателей внутреннего сгорания, у которых КПД доходит до 40%.

Вывод

В ходе выполнения работы была изготовлена действующая модель двигателя Стирлинга из подручных материалов. Данная модель может быть использована на уроках физики в школе и лекциях по общей физике в вузе при обсуждении основных законов термодинамики и принципов действия тепловых двигателей. Тему двигателей Стирлинга надо развивать, они не требуют горючих материалов и могут работать просто от перемены температур. Двигателей Стирлинга более экологичные и КПД у них выше т.е. потребляют меньше отдают больше

Список литературы

«Двигатели Стирлинга - технологический прорыв в автономной энергетике XXI века». Автор: Н.Г. Кириллов, доктор технических наук, академик Академии военных наук, Заслуженный изобретатель РФ.

«Стирлинг по-русски» Автор: доктор технических наук В. Нисковских (г. Екатеринбург). Н. Кириллов, И. Затеев Двигатель Стирлинга. История, перспективы - журнал «Альтернативный киловатт»

В.М.Бродянский - Вечный двигатель - прежде и теперь. От утопии - к науке, от науки - к утопии.

РЕЦЕНЗИЯ

на учебное исследование по физике
ученика 10 «А» класса МБОУ СОШ № 25 г. Пензы
им. В.П. Квышко
Жукова Александра Алексеевича
Тема: «Двигатель Стирлинга»

Работа посвящена актуальной теме – двигатель Стирлинга. В наше время каждый должен быть заинтересован в улучшении экологии Земли. Одним из главных факторов ухудшения окружающего мира можно назвать большое количество вредных выбросов в атмосферу. Распространенные в настоящее время двигатели внутреннего сгорания имеют целый ряд недостатков: их работа сопровождается шумом, вибрациями, они выделяют вредные отработавшие газы, загрязняя тем самым нашу природу, и потребляют много топлива. Но на сегодняшний день альтернатива им уже существует. Класс двигателей, вред от которых минимален – двигатели Стирлинга.

Автор работы подробно описывает принцип работы двигателя Стирлинга. В ходе работы автором была создана модель двигателя, а также произведено сравнение ее с бензиновыми и дизельными двигателями.

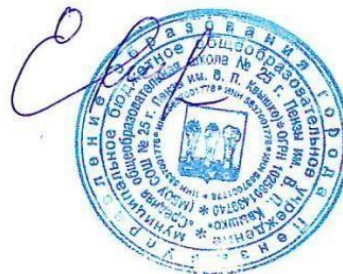
Работа наполнена авторским взглядом на проблему, при написании проекта использовались различные источники, находящиеся в открытом доступе.

Рецензент:
руководитель МО учителей
естественно-математического цикла,
физической культуры и ОБЖ,
учитель высшей квалификационной категории
Подпись Обуховой Т.А. заверяю



Т.А. Обухова

Директор



О.П. Ермакова