

Государственное учреждение образования
«Средняя школа № 2 г. Гомеля имени Г.М.Склезнева»

10 КЛАСС

МОДУЛЬ «ПРЕДМЕТНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ ЛАБОРАТОРИЯ»

Физика

Практическая работа

«Коэффициент полезного действия тепловых двигателей. Двигатель Стирлинга»

Ничипаренко Ирина Леонидовна,
учитель физики
8(029) 3064366;
e-mail: ira222674@gmail.com

Практическая работа. «Коэффициент полезного действия тепловых двигателей. Двигатель Стирлинга» (Слайд 1)

Цель занятия: углубить и систематизировать знания обучающихся о коэффициенте полезного действия тепловых двигателей; сформировать понятие двигателя Стирлинга; выработать умение применять формулы при решении задач по данной теме; развивать познавательную и творческую активность, инициативность, ответственность за свои действия, организованность, предприимчивость, стремление к саморазвитию и самореализации, а также навыки осуществления коммуникации, умения работы с информацией.

Оборудование: интерактивная доска, компьютер, проектор, карточки, модель ДВС.

Ход занятия:

1. Организационный момент

2. Повторение (актуализация) опорных знаний

Заполнение кластера учащимися, обсуждение сообщений. Приложение 1. Приложение 2.

Тепловыми двигателями называют машины, в которых внутренняя энергия топлива превращается в механическую энергию.

Существуют несколько видов тепловых двигателей: паровая машина, двигатель внутреннего сгорания, паровая и газовая турбины, реактивный двигатель. (Слайд 2)

Виды тепловых двигателей:

- 1) паровая машина
- 2) паровая турбина
- 3) газовая турбина

4) двигатель внутреннего сгорания. Двигатель Дизеля

5) Реактивный двигатель. (Слайд 3)

История создания тепловых двигателей:

1690 – пароатмосферная машина Д.Папена

1705 - пароатмосферная машина Т.Ньюкомена для подъема воды из шахты

1763-1766 – паровой двигатель И.И.Ползунова

1784 – паровой двигатель Дж.Уатта

1865 – двигатель внутреннего сгорания Н.Отто

1871 – холодильная машина К.Линде

1897 – двигатель внутреннего сгорания Р.Дизеля (с самовоспламенением).

(Слайд 4)

Три основных элемента любого теплового двигателя:

1. Нагреватель, сообщаящий энергию рабочему телу.

2. Рабочее тело (газ или пар), совершающее работу.

3. Холодильник, поглощающий часть энергии от рабочего тела. (Слайд 5)

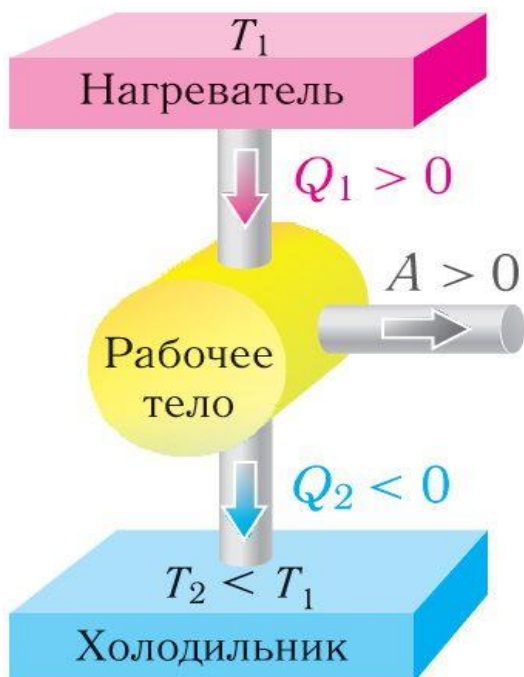


Рис.1 Схема теплового двигателя
(Слайд 6)

- Принцип действия теплового двигателя основан на свойстве газа или пара при расширении совершать работу.
- В процессе работы теплового двигателя периодически повторяются расширения и сжатия газа.
- Расширения газа происходят самопроизвольно, а сжатия под действием внешней силы. (Слайд 7)

Основная характеристика теплового двигателя является коэффициент полезного действия-отношение работы, совершаемой двигателем за цикл, к количеству теплоты, полученной от нагревателя. (Слайд 8)

3. Изучение нового материала

Двигатель Стирлинга – это двигатель внешнего сгорания, в котором энергия вырабатывается за счёт разницы температур в разных частях замкнутой ёмкости. Рабочим телом служит газ. Нагреваясь и охлаждаясь, он перемещает поршни, которые крутят маховик. Отличительная особенность двигателя – способность работать абсолютно на любом топливе, от угля и дров до солнечной и ядерной энергии. (Слайд 9)

В современных условиях двигатель Стирлинга представляет интерес по нескольким причинам. Во-первых, в нем осуществлен замкнутый цикл рабочего тела (изначально рабочим телом служил воздух, в более поздних моделях использовался водород или гелий). Во-вторых, в качестве источника тепла можно взять любое топливо, ориентируясь, скажем, на низкий уровень вредных выбросов. И, в-третьих, по крайней мере теоретически, этот двигатель должен обладать большой эффективностью по превращению тепла в работу. Однако, по ряду причин двигатель Стирлинга так и не получил широкого распространения: вначале победил паровой котел, а затем двигатель внутреннего сгорания. Тем не менее, интерес к идее Стирлинга периодически возрождается [1, с.58]. Это объясняется и тем, что двигатель не слишком

загрязняет окружающую среду, и тем, что в качестве источника тепла необязательно использовать сжигание продуктов переработки нефти. Фактически, двигатель Стирлинга может работать от любого перепада температур. (Слайд 10)

Рассмотрим основные принципы действия классического двигателя Стирлинга (рис. 2). Два поршня, хорошо подогнанных к цилиндру, могут двигаться влево и вправо либо под давлением воздуха в цилиндре, либо под действием внешнего механизма, с которым они соединены. В средней части цилиндра находится пористый материал (например, металлическая сетка), так называемый регенератор, который при работе двигателя то запасает, то отдает тепло. Регенератор должен быть не слишком хорошим проводником тепла, чтобы сохранять разность температур между холодным и горячим цилиндрами. Сбоку от поршней располагаются два «тепловых резервуара», температура которых поддерживается постоянной. Левый, «нагреватель», имеет высокую температуру благодаря источнику тепла, а правый, «холодильник», низкую благодаря устройству для отвода тепла [2, с.76].

При работе двигателя циклически изменяется давление, температура и объем воздуха внутри цилиндра — иначе говоря, его состояние. На рисунке показано положение поршней, соответствующее четырем состояниям, которые можно лучше понять, обратившись к диаграмме справа на рис. 2, где показана зависимость давления воздуха от объема. Работе двигателя соответствует обход криволинейного четырехугольника по часовой стрелке. (Слайд 11)

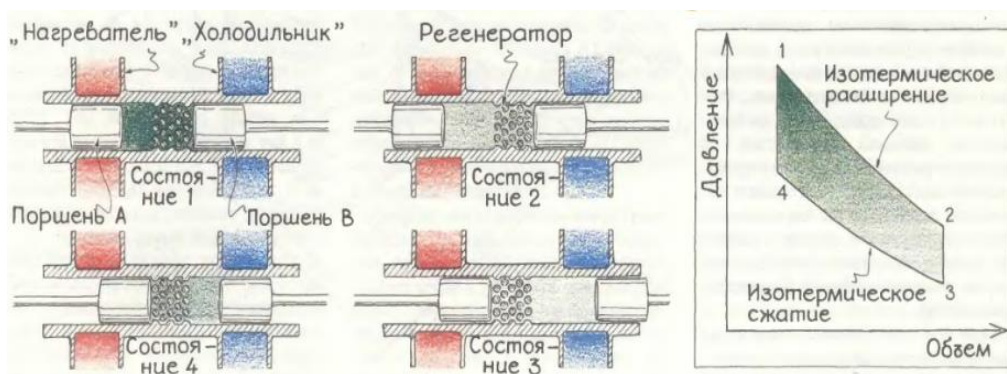


Рис. 2

Вначале рассмотрим состояние 1, которое соответствует первому из серии рисунков, а также верхней левой вершине криволинейного четырехугольника. Поршень **В** находится вблизи регенератора, поршень **А** несколько дальше. Воздух между поршнями имеет повышенное давление. По мере того, как воздух нагревается от нагревателя, он расширяется и толкает поршень **А** влево; поскольку объем между поршнями увеличивается, давление уменьшается. В процессе расширения воздуха его температура поддерживается постоянной за счет нагревателя, поэтому такое расширение называют изотермическим. Фазе расширения соответствует верхняя кривая криволинейного четырехугольника на рисунке. Когда поршень **А** достигнет крайнего левого положения, воздух перейдет в состояние 2.

В следующий момент оба поршня вынуждены начать двигаться вправо — не под влиянием тепла, а под воздействием специального механического устройства, с которым они соединены. В результате поршень **А** приблизится к регенератору, а поршень **В** уйдет до конца вправо. Воздух теперь находится в состоянии 3. Двигаясь, поршни заставляют воздух проходить через регенератор, который отбирает у воздуха часть тепла и охлаждает его. Поскольку поршни движутся как одно целое, объем воздуха во время этой переходной фазы не меняется, поэтому говорят, что переход происходит при постоянном объеме.

Теперь механическое устройство, соединенное с поршнем **В**, толкает поршень влево. Во время сжатия воздух отдает тепло холодильнику. Холодильник поддерживается при постоянной температуре, поэтому температура воздуха не меняется; соответственно эту фазу называют изотермическим сжатием. В конце фазы сжатия воздух переходит в состояние 4. В завершение цикла механическое устройство сдвигает поршни до конца влево, и они оказываются в положении 1, с которого мы начали анализ. На этот раз переход также происходит при постоянном объеме. Когда воздух проходит через регенератор, он забирает тепло, которое отдал во время предыдущего перехода при постоянном объеме.

Работа двигателя соответствует обходу криволинейного четырехугольника на графике. Во время перехода из положения 1 в положение 2 один из поршней перемещается под действием расширяющегося воздуха. Во время остальных трех переходов поршни приводятся в движение механическим устройством. Совершает ли двигатель полезную работу? Иными словами, производит ли воздух большую работу над механическим устройством, чем это устройство над воздухом?

Напомним, что работа определяется как произведение силы на перемещение объекта. То, что создает силу, теряет энергию, и эта энергия проявляется в виде движения объекта. В задачах термодинамики удобно выражать работу как произведение давления на изменение объема [3, с.432].

Если стенки не перемещаются под действием давления, то воздух не производит никакой работы. Таким образом, чтобы воздух мог производить работу, емкость должна расширяться. Если под действием внешней силы емкость сжимается, то работа производится не воздухом, а этой внешней силой. Объект, ответственный за появление этой силы (это может быть человек или некоторое механическое устройство), теряет энергию, и эта энергия передается стенкам емкости, а затем молекулам воздуха. В этом случае работа совершается против давления воздуха, но также равна произведению давления на изменение объема.

Идея, лежащая в основе двигателя Стерлинга, состоит в том, чтобы заставить воздух совершать работу над поршнем, толкая его наружу, что приводит к увеличению объема между поршнями. Это движение поршня можно передать механизму, который будет выполнять какие-то полезные действия. Если бы, однако, такое перемещение поршня было единичным, этот аппарат вряд ли можно было назвать двигателем. Временами воздух в двигателе должен каким-то образом сжиматься, чтобы, расширившись, он мог совершать работу заново. Коротко говоря, объем воздуха должен изменяться циклически. Но, как мы уже говорили, для того чтобы сжать воздух, над ним нужно произвести некоторую работу. Чтобы двигатель был способен совершать

полезную работу, внешний механизм в ходе цикла должен затрачивать на сжатие воздуха меньшую работу по сравнению с той, какую производит воздух над механизмом.

Решение этой проблемы лежит в использовании тепловых свойств воздуха. Воздух производит работу над поршнем A во время изотермического расширения, когда его температура повышена (а вместе с ней – и давление). Поскольку работа, совершаемая воздухом, зависит от давления, она также велика. Механизм же совершает работу над воздухом при пониженной температуре воздуха. В результате двигатель оказывается способным производить полезную работу.

Работа, которая совершается двигателем за один цикл, может быть определена из графика зависимости давления воздуха от объема. Во время изотермического расширения работа, совершаемая воздухом, выражается площадью под соответствующей кривой. (Этот участок сверху ограничен кривой, снизу — осью объема, а сбоку — двумя вертикальными линиями, проведенными через концы кривой.) При изотермическом сжатии работа, совершаемая над воздухом, также выражается площадью под соответствующей кривой. Фазе действия при постоянном объеме соответствует нулевая работа, поскольку объем воздуха не меняется. Чтобы найти полное количество полезной работы, производимой двигателем в течение одного цикла, надо из площади, расположенной под кривой расширения, вычесть площадь, расположенную под кривой сжатия. Эта разность равна площади криволинейного четырехугольника.

Коэффициент полезного действия двигателя Стирлинга совпадает с КПД двигателя Карно при условии, что оба двигателя работают идеально и циклы совершаются квазистатический. Однако, площадь, ограниченная на графике давление-объем циклом Стирлинга, превышает площадь, ограниченную циклом Карно. Поэтому за каждый цикл двигатель Стирлинга совершает больше работы (разумеется, поглощая при этом больше теплоты).

Недостатки:

1. Большой размер и вес. Чтобы достичь более высокой мощности, двигатель Стирлинга имеет большие размеры, что и увеличивает его вес.
2. Материалоёмкость и зависимость КПД от материала. Из предыдущего пункта вытекает следующий недостаток. В связи с большими размерами двигатель требует значительного объёма материалов. Металл должен быть термостойким и качественным, что увеличивает его стоимость. Тепло подводится через стенки теплообменника, которые имеют ограниченную теплопроводность, что снижает КПД двигателя. Поэтому для его изготовления нужен качественный и дорогостоящий материал.
3. Сложность управления и длительный запуск. Двигатель Стирлинга долго прогревается, так как ему нужно достичь более высоких температур. Также его достаточно сложно регулировать. (Слайд 12)

Преимущества:

1. Низкий уровень выбросов. Этот двигатель не имеет выхлопов, следовательно, он более экологичен, чем двигатель внутреннего сгорания.
2. Простая конструкция.
3. Всеядность. Данный двигатель может работать за счёт практически любых перепадов температур.
4. Низкий уровень шума. Работа Стирлинга достаточно тихая для двигателя, так как в нём нет взрывов, как в двигателях внутреннего сгорания.
5. Долговечность. За счет простой конструкции и отсутствия «нежных» узлов, он может работать сотни тысяч часов без остановки. (Слайд 13)

5. Практическая часть (решение задач)

Задача 1: Над рабочим веществом тепловой машины совершают цикл, который может быть представлен двумя изобарами (давление p_1 и p_2) и двумя изохорами (объёмы V_1 и V_4). Найти КПД цикла, если рабочим веществом является идеальный одноатомный газ. (Слайд 14-17)

Задача 2: КПД идеальной тепловой машины $\eta = 0,25$. Машина работает по обратному циклу (как холодильная). Какое максимальное количество тепла

можно забрать из холодильника, совершив работу $A = 10$ Дж? Чему равен холодильный коэффициент машины ε ? (Слайд 18-20)

Задача 3: В камере сгорания двигателя, работающего на смеси кислорода с водородом, образуются горячие водяные пары при давлении $p = 8,32 \cdot 10^7$ Па. Масса паров воды $m = 180$ г. Объём камеры сгорания $V = 0,002$ м³. Определить максимальный КПД такого двигателя, если температура отработанных паров $T_2 = 1000$ К. (Слайд 21-22)

Задача 4: Три четверти теплоты, полученной от нагревателя при осуществлении цикла Карно, передаётся холодильнику. Температура нагревателя $T_1 = 400$ К. Найти температуру холодильника. (Слайд 23-24)

Задача 5: КПД цикла Карно $\eta = 1/6$. Во сколько раз нужно увеличить температуру нагревателя (оставляя неизменной температуру холодильника), чтобы КПД увеличился втрое? (Слайд 25-26)

6. Подведение итогов занятия

Использование тепловых двигателей дает человеку огромные возможности и одновременно является наиболее сильным фактором разрушения природы. (Слайд 27)

«Могущество страны не только в одном материальном богатстве, но и в духе народа.

Чем шире, свободнее эта душа, тем большего величия и силы достигает государство.

А что воспитывает широту духа, как не эта удивительная природа!

Её надо беречь, как мы бережём самую жизнь человека.

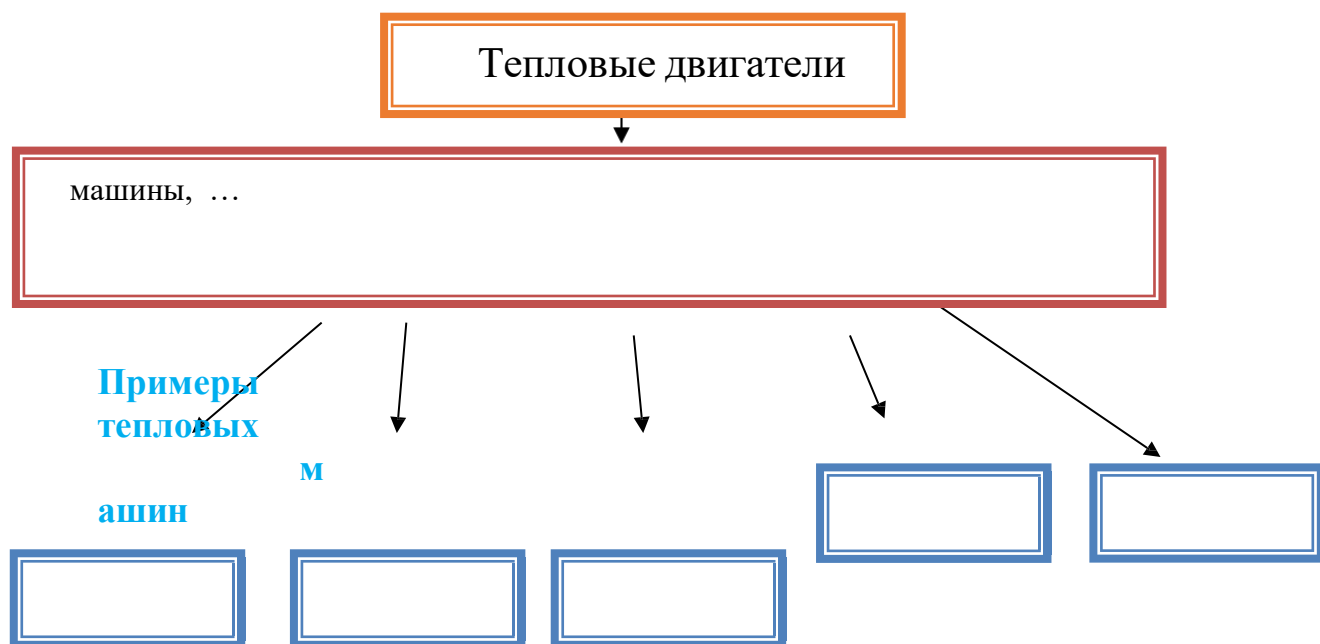
Потомки никогда не простят нам опустошения земли, надругательства над тем, что по праву принадлежит не только нам, но и им.»

П.И. Чайковский (Слайд 28)

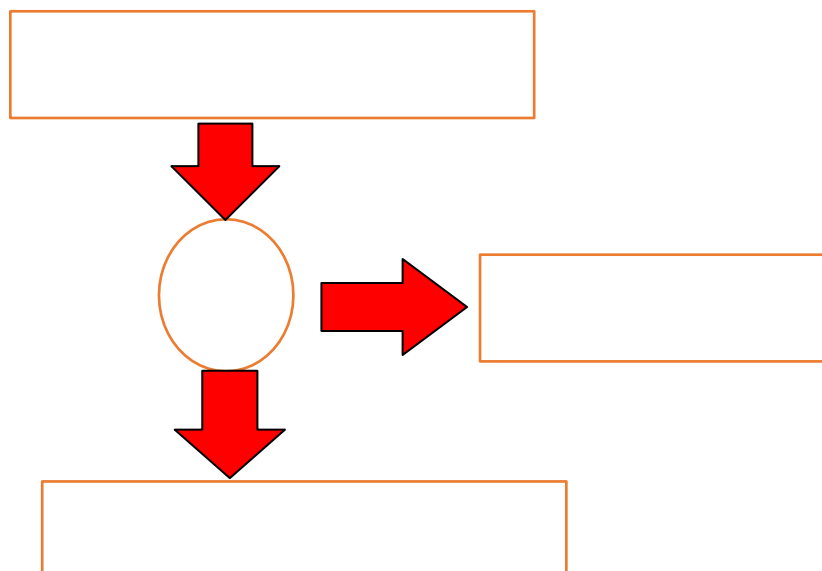
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Камен Д. Чистая энергетика // В мире науки. – 2007. – № 1. – С. 58-67.
2. Уолкер Дж. «Домашний» вариант двигателя Стирлинга из подручных материалов // В мире науки. – 1990. – № 3. – С. 76-80.
3. Савельев И.В. Курс общей физики. Т. 1. Механика. Молекулярная физика. – М., Наука, 1986. – 432 с.
4. Уолкер Дж. Жидкостный двигатель с внешним нагревателем — лабораторные опыты // В мире науки. – 1985. – № 6. – С. 84-88.
5. Садкина, В.И. 101 педагогическая идея. Как создать урок / В.И. Садкина / – изд. 2-е. – Ростов н/Д: Феникс, 2015. – 87 с.

Приложение 1



Принцип работы



Приложение 2

